



TITLE:

林木落葉の分解について : 落葉の化学的組成とその分解速度との関係について

AUTHOR(S):

堤, 利夫

CITATION:

堤, 利夫. 林木落葉の分解について : 落葉の化学的組成とその分解速度との関係について. 京都大学農学部演習林報告 1956, 26: 59-87

ISSUE DATE:

1956-09-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191290>

RIGHT:

林木落葉の分解について

(落葉の化学的組成とその分解速度との関係について)

堤 利 夫

On the decomposition of forest litter.

(On the relation between the chemical composition of litter and their rate of decomposition.)

by

Tosio Tsutsumi

目 次

I. 緒 言	V. 考 察
II. 従 来 の 研 究	VI. 摘 要
III. 実 験 方 法	文 献
IV. 実 験 結 果	

I. 緒 言

林木落葉の分解速度、過程は形成される腐植の型と関係し森林土壌の生産性に重要な役割を果たしている。落葉の分解は種々の因子の影響をうけるとしても一定の実験室的な条件の下では樹種間にあらわれる落葉分解速度の差異は主としてその化学的性質の違いによるものと考えられる。本報告は2, 3の林木落葉について各有機組成分の量的、質的な差が、CO₂の発生量で示される分解速度とどのような関係があるかを求めようとしたものである。

本研究を広く指導された沼田名誉教授、四手井教授に謝意を表する。

II. 従 来 の 研 究

落葉落枝の分解状態に応じて決定される Auflagehumus の型は、直接林地の生産力と関係するため種々の型に区分されてきた^{20) 34)}。落葉の分解は気候、土壌、植生など諸因子の総合的な影響をうけると考えられるが、Waksman は有機物分解に関与する条件として、(1)有機物の化学的組成、(2)分解に必要な窒素量の存否、(3)分解に関与する微生物の種類、(4)分解の行われる時の環境条件、(とくに通気、温度、水分など)をあげた。自然状態ではこれらの条件は相互に密接に関係しあい、支配的となる因子は夫々の場合によつて違ふと考えられる。ここでは落葉の化学的性質、とくに有機組成分と分解速度との関係について従来の研究をたどることにする。

腐植形成の種々の差異は樹種に特徴的なものと考え Humusbildner と Humuszehrer とに区分し樹種別に腐植形成の傾向を求めようとする考えは古くより行われてきた。しかしいつも必ず樹種に特徴的な性質として出現するものではなく土壌の性質、気候的因子など種々の条件の影響をうけて同一樹種でもその分解速度に著しい差の生ずることがあり、^{17) 32) 51) 52)}分解のはやいものでも不良な立地にあるときは分解の悪い樹種の良好な立地にあるものよりかえつて分解がおそくなる場合がある。また落葉に含まれる無機組成分については⁶⁾Ebermayer 以来多数の報告があり土壌の化学的性質との間に密接な関係の

あることが知られているが、一方落葉中の塩基の含有量、とくに Ca 量と分解速度についても Hesser-
 man¹³⁾ 2) 3) 22) 23) その他により密接な関係が認められている。Wittich⁵⁵⁾ も塩基量、窒素量を基準として腐植形成の
 経過を説明している。ここで Wittich は落葉分解に関与する微小動物の重要性を認め、土壤中に塩基
 量の多いことによつておこる生物学的に活潑な有利な状態が大きな関係をもつことを示した。従つて
 立地条件によつて落葉分解速度の変化することの原因は気候条件の違うことのほかに落葉灰分組成、
 とくに塩基含有量の変化、または塩基に富む落葉を生産する土壌条件の違い、とくに生物学的な条
 件の違いと密接に関係していたと考えてよいであろう。従つて落葉分解速度は樹種の性質のほかに立
 地条件を加味して考慮する必要がある。しかし灰分組成は立地、気候条件に支配されることが大きい
 とはいえ樹種の特徴もまたあらわれるとし概略的に樹種別に平均値を求めてその Ca 含有量に応じて
 Lutz¹⁹⁾ Chandler²⁶⁾ は樹種を 3 つの群に区分した。すでに Müller も指摘したように立地条件に反応す
 る性質は樹種によつて違い落葉灰分組成の変化もすべての樹種を通じて同一には論ぜられない。

塩基含有量は分解のための条件と考えられるに對し直接分解⁴⁹⁾をうけて消失し、または腐植の母体と
 なる落葉の有機組成成分と分解速度との関係について Waksman は多数の実験結果からつぎのような
 事実を認めた。すなわち、(1)水溶性物質は分解初期に急速に分解をうけてしまう。(2)セルローズ、ヘ
 ミセルローズの分解速度はそれ程はやくはないが継続的に分解をうけ、その速さは土壤中や植物材料
 中の窒素量の多少によつて影響される。(3)リグニンの分解は極めて徐々にしかおこらないがその速度
 は植物の種類によつて差異がある。(4)分解の進むにつれて一般に有機態の窒素化合物は増加する。こ
 のように落葉を構成する各組成成分の間で微生物による分解速度に著しい差異があるから各種落葉につ
 いて組成成分の量的割合の差によつて分解の難易が決定されたと考えられてきた。

針葉樹落葉の分解が広葉に比し一般におそいのは樹脂、蠟質物などが多いからと考え、これらの成
 分を加えるとセルローズの分解や硝化作用が著しく抑制されることを Koch^{15) 16)} らや Némec²⁸⁾ らは指摘し
 た。針葉でこの成分の著しく多いことはこのほか Kleberg¹⁴⁾ Wittich^{51) 53) 54)} Melin²⁴⁾ 大政・森³⁰⁾ らの結果があ
 りいづれも広葉より多くその 2 倍にも達する場合の多いことを示している。Waksman⁴³⁾ Tenney³⁶⁾ はラ
 イ麦稈に比し全窒素量が 3 倍にも達するナラの落葉の分解が前者とほぼ同様であるのは多分リグニン
 及び蠟質物などの含有量が大きいためであろうとしたが、Russel³⁶⁾ も有機物がはやく分解されるため
 の条件として蠟質物の少ないことをあげている。従つて一般に針葉の分解のおそいのはこの成分の多
 いことによるとされ、これらは分解に抵抗して残存しとくに分解のための条件の悪いところでは多量
 に残存して Bitumen と称されている。しかし大政・森は、エーテル及びアルコール抽出物の分解に
 對する抵抗性はリグニンなどに比しよほど弱いようでセルローズよりはやく分解される場合のあるこ
 とを報告し、Springer⁴⁰⁾ ら、Némec²⁹⁾ も分解の進行とともに急速に減少してゆくことを示し、芝本³⁸⁾ らは
 A₀ 層の各層でエーテル及びアルコール抽出物はその % で分解前後にほとんど変化がなかつたとのべ
 ている。一方 Melin²⁴⁾ はエーテル及びアルコール抽出物の著しく多かつた *Pinus strobus* の分解速度は
 それと等しい窒素量を示した *Betula papyrifera* のそれと一番近似した値を示したので針葉に分解を
 とくに著しく妨げている物質が存在していたとは考えられなとし、Waksman⁴³⁾ らもエーテル抽出物
 を除去した *Pinus rigida* の針葉の分解は 28 日間の CO₂ 発生量で無処理の材料と著しい違いがなか
 ったと報告している。

冷水で抽出される部分ははやく時期に急速に分解をうけるのでその多少が当初の分解速度を決定す
 ることがある。しかしこの部分の影響は極めて初期にのみ限られると考えられる。温水抽出物は冷水
 抽出物よりも分解され難い傾向がある。これは Waksman⁴³⁾ ら、Springer³⁹⁾ によれば分解に對し抵抗的
 なタンニン類を含むことや分解の進行とともに分解され難い腐植様物質をつくることによる。Koch¹⁶⁾
 らはタンニンの害作用を指摘し Wollny⁵⁷⁾ も分解に抵抗的なタンニン・蛋白質複合体の形成によつて分
 解速度が低下するとし、Handley¹⁰⁾ もタンニンと蛋白質との結合が分解の過程を決定する重要な因子
 であるとしている。しかし一般に水溶性物質にとむことは初期の分解に有利な条件と考えられている。

セルローズやヘミセルローズは比較的容易に分解をうけ初期の分解速度と重要な関係をもつが³³⁾ Rege はペントーザンが分解当初から急速に分解をうけることを示し、分解に充分な窒素量のあるとき分解速度は「エネルギー因子」すなわちペントーザン量と「妨害因子」すなわちリグニン量との2つの因子によつて制約されると考え、ペントーザンとリグニンの比が1より大きいときははやく0.5より小さいときはおそいという。しかし樹種が違ふとヘミセルローズの減少のはやさが違ふことがあ²⁹⁾ る。一般にヘミセルローズはセルローズよりはよい時期に分解をうけるとしても後にはセルローズの方がより完全に消失してしまうもので、これはヘミセルローズの中には分解に抵抗的な部分を含むこと³⁹⁾ と、分解とともに新しいヘミセルローズ様物質の合成がおこることなどによるとされている⁴⁶⁾。

リグニンは植物材料中で極めて分解に抵抗的で分解残渣中に残り腐植の母体となることはよく知られた事実であるが、⁴⁷⁾ Grosskopf⁴⁹⁾ は臭化アセチルで未分解有機物と腐植を分離するとリグニンは漸次分解変質して腐植に移行するとし、⁹⁾ Springer も分解の進むとともに臭化アセチル不溶部分は%で大となるが絶対量は初期3ヶ月目で多くその後徐々に減少してゆく傾向があつたという。またリグニンはセルローズやおそらくヘミセルローズなどと細胞膜中で密接に関係しその分解をおくらせる作用があるとされ、含有量が多い程セルローズが被覆されることも大であり分解もそれに応じておそくなると考えられる。³⁶⁾ Grosskopf⁵⁰⁾ はトウヒの針葉の分解がその材に比しおそいのはセルローズに対する比較的なリグニン含有量が高いためであると考え、しかもこの関係は一般に分解速度の簡単な指標とすることができるとのべた。すでにのべたように Waksman⁸⁾ らもナラの葉の高いリグニン含有量がライ麦稈より分解のおそいことの一つの原因であると推定したが、リグニンはそれ自体が極めて分解され難いものであると同時に他の細胞膜構成物質とくにセルローズの分解に大きな関係をもち落葉分解速度に相当大的な影響を与えていると考えてよいであろう。しかし⁵³⁾ Wittich は実験した材料中で最も分解のはやかつたものでもリグニン量が極めて多かつたことから、リグニンは組織をかたくし細粉されることに抵抗するといふ²⁴⁾ 点で分解をおくらせる一因子であるとしても決して特定の決定的な因子ではありえないと考え、²⁴⁾ Melin もリグニンの多いことからその材料の分解がおそいことを直ちに推定しえないとのべた。また、植物の種類によつてリグニンの分解速度に差異があるようで⁴⁴⁾ Waksman³⁰⁾ らはライ麦稈や針葉、広葉のリグニンは燕麦やアルファルファのリグニンよりも、³⁰⁾ 大政・森は針葉では広葉よりも、²¹⁾ Martin⁴⁾ らは燕麦やトウモロコシの茎ではチモシーやクローバーよりも分解され難い傾向があるとし、Coldwell⁴⁾ らも樹種によつてリグニンの分解速度が違ふことを示した。一方、⁴⁸⁾ リグニンを分解する微生物の種類は糖類やセルローズなどの場合より著しく少ないと思われるが⁸⁾ Grosskopf はリグニン分解菌は良好な立地の酸性の強くない林地にのみ多くここでは落葉の分解もはやいが、不良なCaに乏しい立地条件の下では極めて少ないかまたは全く存在しないため分解がおくれ粗腐植の堆積がおこるといふ。⁷⁾ Falck も有機物分解過程をリグニンの分解及びそれに関与する微生物相に関して2つに区分したが、⁵⁵⁾ Wittich³⁷⁾ もCaや窒素に富むとき微動物の活動も盛んでリグニンもよく分解されるとした。また斎藤は未分解の褐色をしたブナ落葉はまず担子菌類及びバクテリアの作用で黄色にvariその形態を失わないままで厚さが減少するとのべている。

このほかリグニンは蛋白質と結びつきその分解を抑制するようである。植物組織中にある蛋白質はかなり速やかに分解をうけるとしても微生物体の蛋白質として再び合成され、リグニン、またはリグニン誘導体と結びつくと微生物の分解に対して極めて抵抗の大きいものとなり Waksman⁴⁹⁾ らはこれをリグニン蛋白質複合体として腐植の母体と考えた。蛋白質はこのようにリグニンと結びついて安定化し、またC/Nの大きい間は失われる量が少ないため分解の進むとともにその%は次第に増大する。

分解速度に及ぼす窒素量の影響はすでに多数の人々によつて指摘され、一般に広葉は針葉よりC/N³⁰⁾ が小さく、C/Nの大小と分解速度との間におおまかな関係が認められ、セルローズのようなものの分解にはその30~40に対し1の窒素が必要であるといふ⁴³⁾。しかし²⁴⁾ Melin は異樹種間での分解速度は窒素の多少で説明できない場合のあることを指摘し、²⁾ Broadfoot⁴⁹⁾ らも窒素の効果は分解初期にのみ限ら

れるとし、Springer³⁹⁾ も異質の材料で長期間の分解に窒素の多少はほとんど関係がないことを示したほか、大杉らはグルコース、セルロースの分解に最適の C/N は10であるに対しリグニンなど分解困難な物質をより多く含む稲稈では30であつたとのべて材料が違ふと窒素の効果のあらわれかたにも違いのあることを指摘した。

このように有機組成分と分解速度との関係を求めようとした試みがなされてきたが、Melin²⁴⁾ によれば落葉の各有機組成分と樹種間にあらわれる分解速度との間に一貫した明瞭な関係を認め難いようで、Helbig, Jung¹²⁾ も有機組成分と分解速度との間に明瞭な関係は認められなかつたとのべた。Springer³⁹⁾ も分解の経過や速度には窒素量よりもその化学的組成、材料の構造がより決定的な関係をもつほか、植物の種類だけではなくその年令によつても変化する各々の組成の性質や結合の仕方が極めて重要であるとした。すなわち落葉分解速度と有機組成分との関係は単にその量的な比較だけから判断することは困難で、さらにそれらの分解に対する性質をも吟味する必要があるように思われる。

Ⅲ. 実験方法

(1) 落葉の有機組成分分析法は Waksman⁴³⁾ の方法に準じた。

(2) 分解速度は CO₂ 発生量を測定し指標とした。すなわち落葉材料 5g (絶乾基準) に対しよく洗滌した石英砂 100g をとり 500cc 容フラスコ中でよく混合し密栓した。毎日1時間ずつ一定時間に CO₂ を除去した空気を通気しフラスコ内を新鮮な空気で置換するとともに発生した CO₂ を水酸化バリウム溶液中に導き、後これを蔦酸で滴定して CO₂ 量を求め C の値に換算した。水分は特にことわらない限りすべて落葉材料の 100%，石英砂の15%の水分量を加えたから落葉材料だけについてはその4倍、すなわち 400%の水分を与えたことになる。培養温度は 28°C であつたが 25°C で行つたこともあつた。与えた無機養分は窒素、燐酸、加里、石灰、苦土などであるが添加すべき水に溶解して加えた。このほか本学附近のアカマツ林表層土を採取しその 10g に対し 1l の殺菌蒸溜水を加え20日間振盪してえた土壤浸出液 1cc を接種材料として用いた。ここでの糸状菌については中山の分析結果がある。なお実験に用いた落葉材料はすべて粉碎し 1mm の円孔篩を通過せしめた材料であつた。

Ⅳ. 実験結果

1. Lemmerman, Wiessmann¹⁸⁾ は土壤からの CO₂ 発生量は一定条件の下で $x = akt^m$ によつてあらわされるとした。ここで x は t 期間内の CO₂ 発生量の総量で、 a は土壤の最初の CO₂ 含有量、 t は期間、 k , m は常数である。その後 Corbet⁵⁾ もこの考えを支持し $y = Ft^m$ によつてあらわされるとした。 y は t 期間の CO₂ 発生量の総量で、 F は最初の単位期間中の CO₂ 発生量で期間を日数で示すと F は最初の1日の CO₂ 発生量である。 m は実験条件による常数で CO₂ 発生量の減速度をあらわし $m = \frac{\log y_2 - \log y_1}{\log t_2 - \log t_1}$ (註) であらわされる。(y₁, y₂ は期間 t₁, t₂ の CO₂ 発生量)

Fig. 1a はアカマツ (京都近郊で採取)、スギ (京大芦生演習林で採取) の分解による CO₂ 発生経過を示したものである。各々絶乾 5g を京大上賀茂試験地の下層土 (有機物をほとんど含まない) 絶乾基準 100g に混じ 28°C で培養し、水分は土壤の最大容水量の50%となるよう調整した。無機養分として K₂HPO₄ 150mg, CaCO₃ 250mg のほか NH₄NO₃ をアカマツには 198.56mg, スギには 273.4mg を与えた。CO₂ 発生量は初期に著しく多いが後徐々に減少してゆく。約7ヶ月間の総発生量と約1ヶ月、2ヶ月のそれを比較すると Table 1 のようであつた。すなわち7ヶ月間の CO₂ 発生量の約1/4は約1ヶ月間に、約1/2はほぼ2ヶ月間に発生した。

(註) 日本林学会第5回関西支部大会 (第5号) に発表した結果の一部である。

Tabl 1. Cmg as CO₂ evolution from 5g of litter.

	Cryptomeria japonica	Pinus densiflora
days		
35	205.9	243.4
63	310.4	354.5
217	735.7	723.8

Fig. 1a Course of decomposition of forest litter.

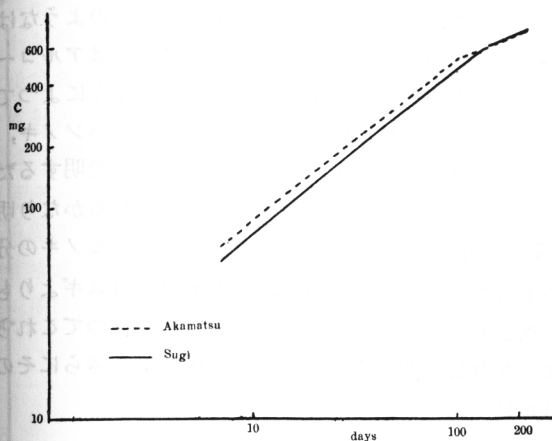
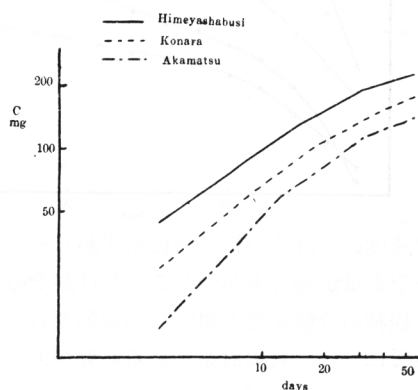


Fig. 1b Course of decomposition of forest litter.

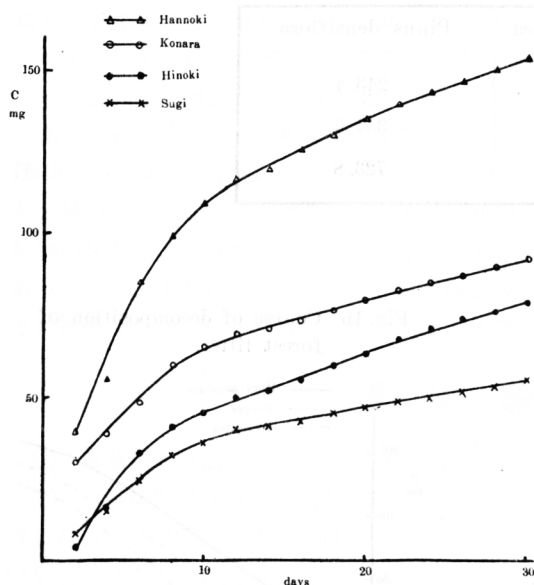


このような CO₂ 発生経過はある期間内で Corbet の式が妥当するが m は分解の進行とともに変化し全期間にわたって一定ではない。これは多分土壌中の有機物は一般に充分に分解が進み易分解性有機物は少なく CO₂ 発生経過もかなり安定するに対して新鮮な落葉には水溶性物質、ヘミセルローズ、セルローズなど分解されやすい成分にとむから初期の CO₂ 発生量が極めて多く、漸次分解をうける組成分の変化がおこり、同時に微生物相も変化してゆくことによるのであろう。Fig. 1b (Fig. 5 の一部) においては m は初期にとくによく変化する。 m の値は分解の進行とともに小さくなり樹種間の違いもまた小さくなる傾向があつた。すなわち樹種間の分解速度の差に与える F の値の影響も著しく、Table 1. に見られるように初期の CO₂ 発生量は後期よりも著しく多いから、実験期間は長い方が望ましいとしても初期の CO₂ 発生量を測定することによつておおよそ樹種間の分解速度の差を推定することは可能であろう。Waksman⁴⁵⁾ は燕麦を種々の温度条件の下で分解せしめた結果最初の 16日を経過すると各条件で分解速度はほぼ平行し条件の違いによる分解速度の差は初期約 2 週間で決定されてしまふとし、Melin²⁴⁾ も 1 ヶ月の CO₂ 発生量を測定して各種落葉の分解速度を論じた。従つてここでは 1~2 ヶ月間の CO₂ 発生量を測定し各種落葉の分解速度について検討することにする。

2. Fig. 2 は京都近郊で採取したハンノキ、コナラ、ヒノキ、スギ落葉 5g を 28°C で分解させた結果である。無機養分は全く与えていない。またその組成分析結果は Table 2 に示した。

30日間の結果では、はやかつたものからハンノキ、コナラ、ヒノキ、スギの順となつたが、コナラとヒノキの差異は大きくはなかつた。²⁴⁾ Melin は異樹種間の分解速度は単に窒素量だけでは比較しえないとしたが、この場合ハンノキの窒素量は他の 3 者より著しく多く、スギ、ヒノキより多かつたコナラの約 2.5 倍に達し、また水溶性部分はハンノキでは他の 3 者に比べて明らかに少なく灰分もまた多かつたとはいえないので、分解のはやかつたのは多分窒素の多量によるのであろう。

Fig. 2 The rate of decomposition of forest litter.



解速度の差はその組成分析結果から充分な説明をすることは困難なようで、ただヒノキはスギよりも全窒素量が幾分か多かったことだけがその分解に有利であつたと考えられるにすぎない。従つてこれら4樹種の分解速度と組成成分の量的割合との間にはつきりした関係を求めることが困難で、さらにその性質についても検討を加える必要があるように思われる。

コナラ、ヒノキ、スギの3樹種の間では窒素量はコナラ>ヒノキ>スギの順であり、分解速度の順位も同様であつた。窒素(粗蛋白質)以外の組成成分でもある程度の差異があつたとしても分解速度の差異を決定づける程明瞭なものはアルコール・ベンゾール抽出物を除いて見出し難い。しかしこの3者の30日間の分解量の差異の大部分は初期約1週間で決定され実験期間の終期では樹種間のCO₂発生量の差は著しく小さくなつた。Table 3にはこの関係を示した。すなわちこのようなはやい時期の分解がスギ、ヒノキではアルコール・ベンゾール抽出物の多量の存在によつて抑制されていたとしても、これはハンノキ、コナラとスギ、ヒノキとの違いを説明するだけでスギ、ヒノキの間にあらわれるかなり明瞭な差異を説明しえない。スギとヒノキの分

Table 2. Proximate composition of forest litter. (% on dry basis)

	<i>Quercus serrata</i> (コナラ)	<i>Alnus japonica</i> (ハンノキ)	<i>Cryptomeria japonica</i> (スギ)	<i>Chamaecyparis obtusa</i> (ヒノキ)
Alcohol-and Benzol-soluble fraction.	7.36	7.83	17.28	18.75
Cold-water soluble fraction	8.20	3.87	8.09	6.99
Hot-water soluble fraction	7.02	4.72	6.29	6.19
Hemicellulose.	12.21	15.07	12.88	11.26
Cellulose	16.88	11.76	15.68	13.99
Lignin	31.26	34.28	28.23	27.79
Crude Protein	5.88	15.38	3.50	5.31
Ash	6.22	3.13	4.52	3.08
Total	96.03	96.04	96.47	93.36
Total Nitrogen	0.94	2.46	0.56	0.87

Table 3. Cmg as CO₂ evolution from 5g of forest litter.

	<i>Quercus serrata</i>	<i>Alnus japonica</i>	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Chamaecyparis obtusa</i>
days				
1~8	59.6	99.6	32.3	41.0
26~30	10.3	7.4	5.0	8.2
1~30	92.3	153.7	55.4	79.4

3. 針葉樹落葉の樹脂などの成分がその分解速度とどのような関係をもつかを求めるためつぎの材料について分解速度を比較した。

(1)スギ落葉絶乾基準 5g (無処理材料) (2)スギ落葉絶乾基準 5g からエーテル抽出物を除去したもの (エーテル処理材料), (3)セルローズ絶乾基準 1.5g, (4)セルローズ 1.5g にスギ・エーテル抽出物を10%添加したもの (スギ・エーテル抽出物添加材料), これはスギ・エーテル抽出物 150mg をエーテルに溶解した状態でよく混じ 60°C で24時間乾燥せしめて供試した。なおスギ落葉は前項の場合とは異つた材料でその組成分析結果は Table 4 示した。無機養分として $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ により C/N を20に調整し, K_2HPO_4 100mg, MgSO_4 30mg, CaCO_3 250mg を用いセルローズには最初から, スギ落葉には69日後に添加した。培養温度は 25°C で, その結果を Fig. 3a に示した。

Fig. 3a Influence of ether extract of Sugi litter on the rate of decomposition of Sugi and (5g) Cellulose (1.5g).

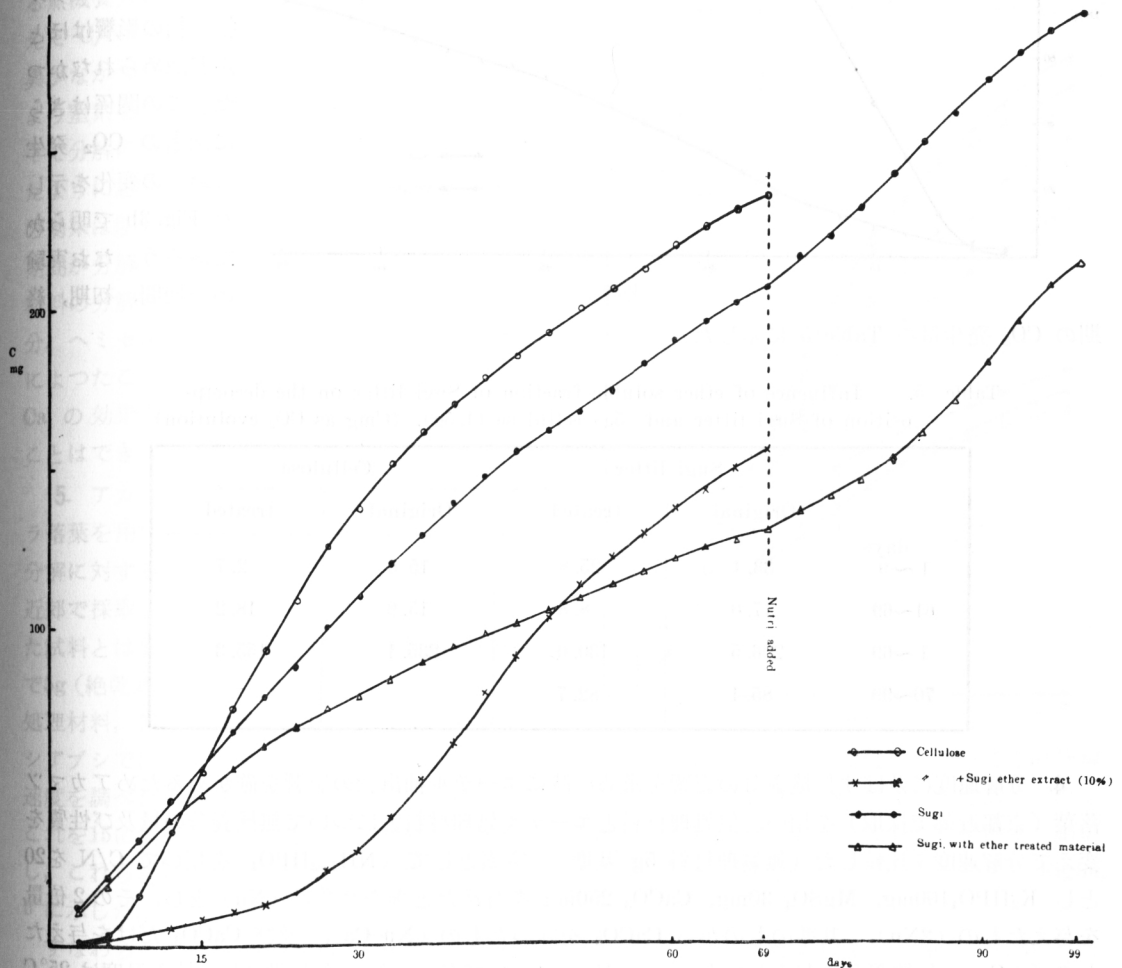
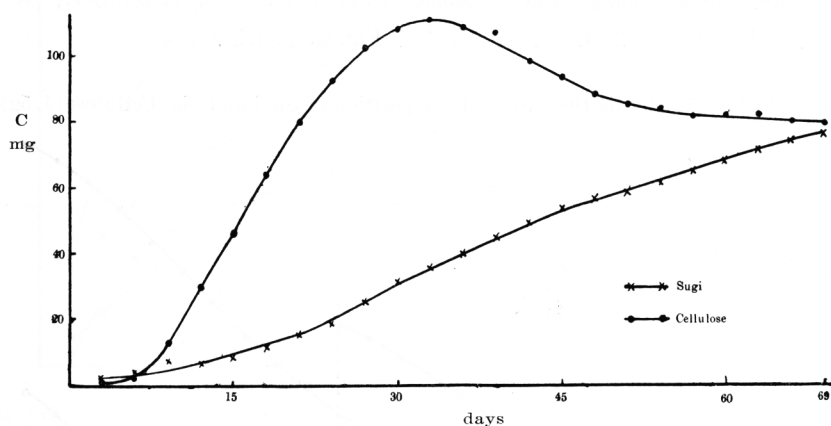


Table 4. Proximate composition of Sugi litter. (% on dry basis)

Ash.	Ether soluble fraction.	Cold water soluble fraction	Hot water soluble fraction	Alcohol soluble fraction	Hemi-cellulose	Cellulose	Lignin	Crude protein	Total	Total nitrogen
6.34	17.50	3.77	3.39	3.09	9.44	13.38	32.38	3.98	93.27	0.64

エーテル抽出物は 17.50% で Table 2 と比較してもハンノキ、コナラより著しく多かつた。この成分を除去しても分解は促進されないばかりでなくかえつてやや低下し無処理材料との差は日数の経過とともに大きくなったように思われる。69日後にスギ落葉に無機養分を添加すると分解速度はやや増加したがエーテル処理材料で無処理材料より増加の傾向が大であつたということとはなかつた。またスギ落葉エーテル抽出物をセルローズに加えると初期その分解が明らかに抑制された。しかし約1ヶ月

Fig. 3b The difference of Cmg as CO₂ evolution between Original materials and treated.



を経て分解が旺盛となるとそのCO₂発生の経過は無処理のセルローズの場合とほぼ等しく、この過程ではスギ・エーテル抽出物の影響はほとんど認められなかつた。この関係はさらに両者のCO₂発生量の差の変化を示した Fig. 3b で明らかであろう。なお実験の全期間、初期、終

期のCO₂発生量を Table 5 に示した。

Table 5. Influence of ether soluble fraction of Sugi litter on the decomposition of Sugi litter and (5g) cellulose (1.5g). (Cmg as CO₂ evolution)

	Sugi litter		Cellulose	
	Original	treated	Original	treated
days 1~9	33.1	25.8	15.6	2.7
61~69	17.0	8.8	15.9	18.2
1~69	206.5	130.0	235.1	155.3
70~99	85.1	82.7		

4. 分解速度に及ぼす無機養分の影響を求め同時にエーテル抽出物の影響を確かめるためアカマツ落葉(京都近郊で採取)を用い、無処理材料とエーテル処理材料とについて無機養分の量及び性質を変えて分解速度を比較した(無処理材料 5g 基準)。窒素として (NH₄)₂HPO₄ を用いて C/N を 20 とし K₂HPO₄ 100mg, MgSO₄ 30mg, CaCO₃ 250mg を与えたときを基準量 (Nu) とし、その2倍量を与えたもの (2Nu)、基準のものから CaCO₃ を除いたもの (Nu-Ca)、及び CaCO₃ だけを与えたもの (+Ca)、無機養分を与えないもの (no Nu) について各々分解速度を調べた。培養温度は 25°C で結果を Fig. 4 に示した。なおアカマツ落葉の組成成分分析結果は Table 9 のようである。

無機養分を全く与えなかつたものではエーテル処理の影響はほとんど認められず、無処理、エーテル処理の両材料はともにほとんど同様に分解したと認められるが、無機養分を与えたものではいずれの場合でもエーテル処理材料の方が無処理材料に比べて幾分 CO₂ 発生量が少なかつた。CO₂ 発生の経過は最初約1週間は両材料に著しい差異がなくその後漸次大となり終期でもなお無処理材料で CO₂ 発生量の多いものが認められた (Table 6)。

Table 6. Influence of treatment with ether and nutrient salts on the decomposition of Akamatsu litter. (on the basis of 5g of original matter, Cmg as CO₂ evolution)

Treatment	Treated				Original				
Nutrient	no Nu	Nu-Ca	Nu	2Nu	no Nu	Nu-Co	Nu	2Nu	+Ca
days									
1 ~ 8	35.0	51.4	54.9	54.8	32.6	60.6	62.2	60.9	45.0
21 ~ 28	13.5	23.8	25.8	27.2	17.1	24.2	33.6	30.9	15.0
1 ~ 28	88.2	161.6	147.2	169.2	93.3	184.3	194.5	192.0	98.9

本実験条件の下でアカマツ落葉の分解に与える無機養分の影響は著しいが基準量の2倍を与えて C/N を10としても分解速度はほとんど差異がなかった。このことから C/N を20になるよう窒素を与えると燐酸、苦土、石灰の共存の下で分解に関する無機養分量はほぼ充分であつたように思われる。なお分解速度に与える Ca の効果は明らかではなかった。これは多分実験期間が分解の初期の短期間であつたためこれら材料の分解速度は主として窒素量や水溶性成分、ヘミセルローズなど易分解性有機物の分解によつたことによるものと考えられ、従つて Ca の効果をこの結果だけから否定してしまうことはできないであろう。

5. アカマツのほかにはヒメヤシアブシ、コナラ落葉を用いアカマツ落葉のエーテル抽出物の分解に対する関係を求めた。材料はすべて京都近郊で採取したのでコナラは Table 2 に示した試料とは異なるものであつた。各々無処理材料で5g (絶乾基準) を用い、アカマツではエーテル処理材料、無処理材料につき、コナラ、ヒメヤシアブシではアカマツ・エーテル抽出物をそれぞれ10%添加した材料、無処理材料についてその分解速度を調べた。無機養分添加量は前項に準じたが、ヒメヤシアブシでは C/N が 21.2 であつたのでこれを15に調整した。同時に無処理材料に無機養分を添加しなかつたものの分解速度をも併せて測定し、これら材料の分解に対する無機養分の効果をも知ろうとした。培養温度は 28°C で結果を Fig5a, b に示した。

すなわちここでもアカマツのエーテル処理材料は無処理材料に比べ幾分 CO₂ 発生量が少なかった。しかしその差は大きくはなくアカマツのエーテル抽出物は本実験条件の下で直接アカマツ落葉の分解を抑制していたとは考えられず、また初期にはやく分解をうけることはないとしても、処理の影響は日数の経過とともに大となり、この成分が継続的に分解をうけて消失してゆく傾向のあることを示している。コナラ、ヒメヤシアブシにアカマツ・エーテル抽出物を10%添加すると明らかに分解が抑制された。しかしその効果は最初数日の間に限られるようでその後は分解が旺盛となり無処理材料とは同様の分解速度を示した。この傾向は抑制効果の認められる期間に長短があつても前述のセルローズの分解に対するスギ・エーテル抽出物の場合と全く同様の現象といえるであろう。この関係を図示

Fig. 4 Influence of the treatment with ether on the decomposition of Akamatsu litter under various nutrients condition.

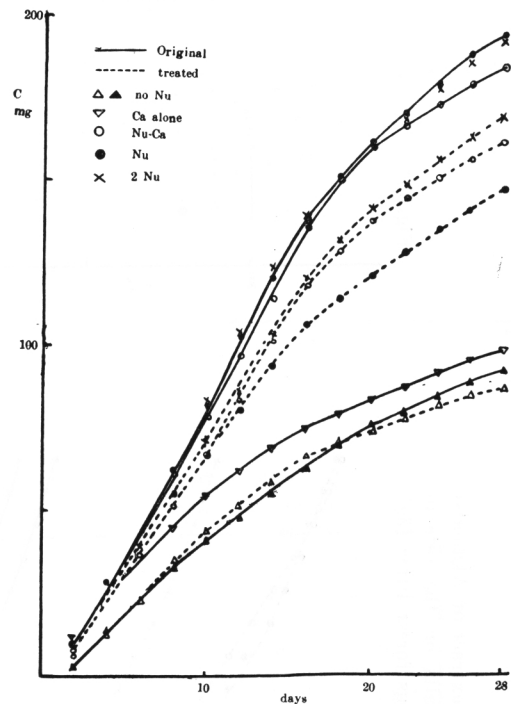


Fig. 5a Influence of the ether extract of Akamatsu litter and nutrients salts on the rate of decomposition of various forest litter (5g).

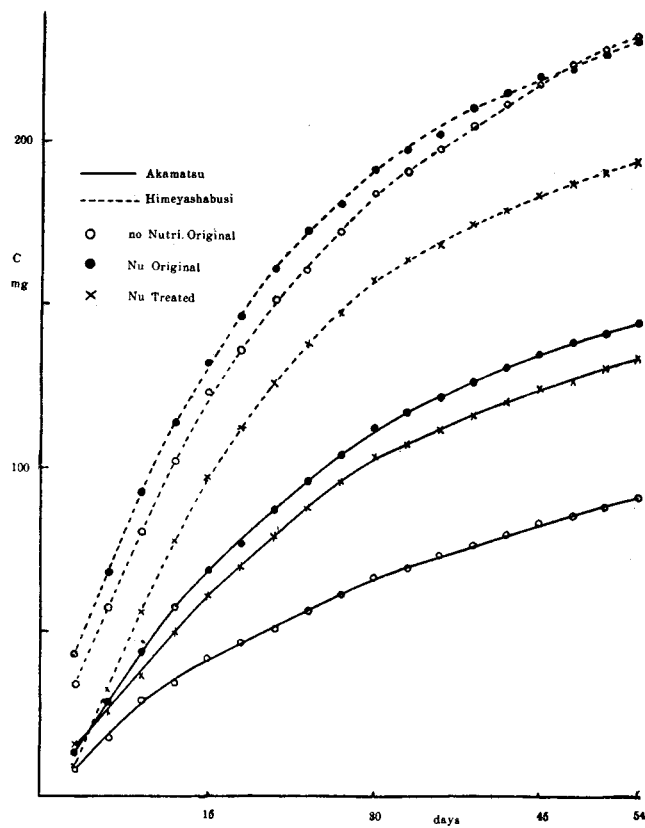
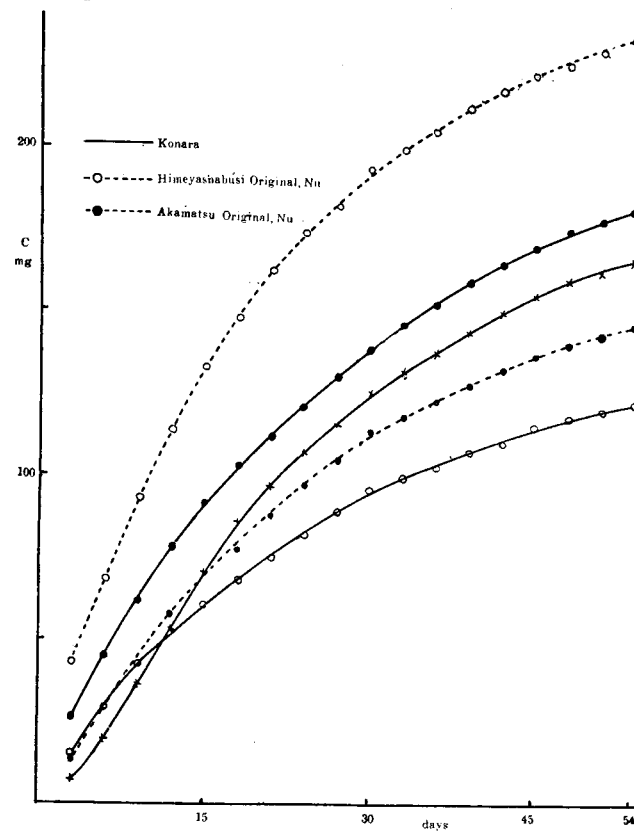


Fig. 5b



したものが Fig. 5c で、CO₂ 発生量を示したものが Table 7 である。

アカマツ、コナラの分解速度に対する無機養分の効果は著しい。その窒素量はそれぞれ 0.65%, 0.88% で C/N は 81.34, 56.49 であつたのでおそらく可給態窒素の不足がこれら落葉の分解を抑制していたものと考えて差支えない。その効果は分解当初に大きく終期にはある程度少なくなるようであるがなお無処理材料より CO₂ 発生量は大きであつた (Table 8)。ヒメヤシアブシではその落葉に 2.43% の窒素を含み C/N は 21.21 であつて添加した無機養分の効果はほとんどあらわれず、54 日間の CO₂ 発生量において両者の差異は極めて少なかつた。従つてこの材料では少なくとも無機養分、窒素量が分解の制限因子になつていたとは考えられない。これら 3 者の CO₂ 発生経過を示すと Table 8 のようであつた。

Fig. 5c Difference of Cmg as CO₂ between original materials and treated.

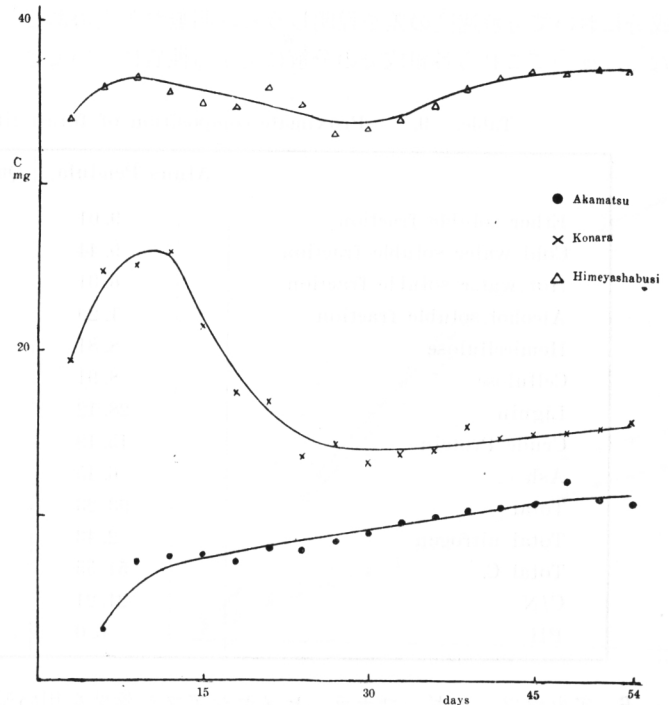


Table 7. Influence of ether-soluble fraction of Akamatsu litter on the decomposition of various forest litter (5g). (Cmg as CO₂ evolution)

	Pinus densiflora		Quercus serrata		Alnus pendula	
	original	treated	original	treated	original	treated
days 1~9	44.0	36.6	61.6	36.5	92.6	56.1
46~54	9.6	9.6	11.1	10.4	10.9	10.9
1~54	145.8	135.1	180.7	165.1	231.9	195.2

Table 8. Effect of the nutrient salts on the decomposition of forest litter (5g). (Cmg as CO₂ evolution)

	Pinus densiflora		Quercus serrata		Alnus pendula	
	no Nutri.	nutri. added.	no Nutri.	Nutri. added.	No Nutri.	Nutri. added.
days 1~9	28.8	44.0	42.9	61.6	80.8	92.6
46~54	8.3	9.6	7.7	11.1	14.9	10.9
1~54	91.8	145.8	122.2	180.7	233.5	231.9

分解速度は無機養分を与えなかつたときははやかつたものからヒメヤシアブシ>コナラ>アカマツの順であつたが、充分の無機養分を与え C/N を同一にしたときでもなお分解速度に差異がありその

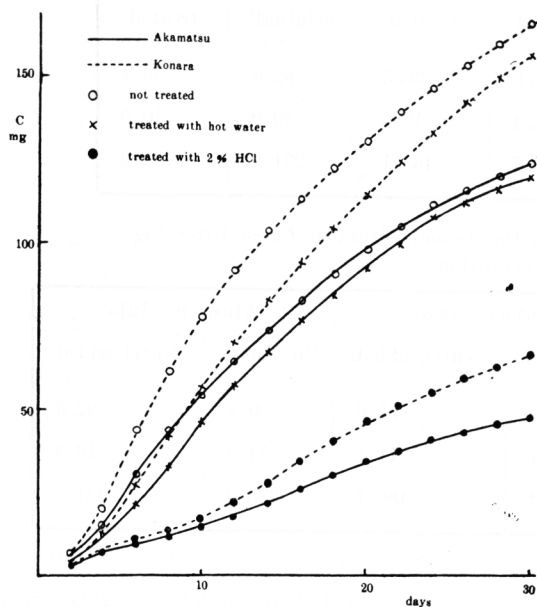
順位も無機養分を与えなかつたときと同様であつた。従つて分解速度の差異を無機養分とくに可給態窒素量の不足で説明することは困難である。組成分析結果を示した Table 9 によつてもその他の組成成分において分解速度の差を説明しうる程明瞭な差異のあるものはヒメヤシアブシの粗蛋白質以外になく、従つてこれら各組成成分の分解に対する性質についてさらに検討する必要がある。

Table. 9. Proximate composition of forest litter. (% on dry basis)

	<i>Alnus Pendula</i>	<i>Quercus serrata</i>	<i>Pinus densiflora</i>
Ether soluble fraction	9.01	8.07	14.91
Cold water soluble fraction	9.44	6.58	5.48
Hot water soluble fraction	6.01	8.86	7.33
Alcohol soluble fraction	1.29	1.62	3.24
Hemicellulose	8.81	11.70	11.50
Cellulose	8.91	13.35	15.72
Lignin	28.12	30.38	29.73
Crude Protein	15.19	5.50	4.06
Ash	6.45	6.71	2.33
Total	93.23	93.01	94.28
Total nitrogen	2.43	0.88	0.65
Total C.	51.55	49.71	52.87
C/N	21.21	56.49	81.34
PH	6.0	4.8	4.2

6. アカマツ、スギ、コナラ、ヒメヤシアブシ落葉を用い温水処理、2% HCl 処理、無処理の各材料につき分解速度を測定し各成分の分解に及ぼす効果を求めようとした。各材料絶乾基準で 5g をエーテル、冷水で処理した後湯煎中で 3 時間加熱し温水抽出物を除去した。この材料をさらに 2%

Fig. 6a Influence of the treatment with hot water and with 2% HCl on the rate of decomposition. (5g of original matter)



HCl で 3 時間湯煎中で処理して 2% HCl 処理材料をつくつた。これらの材料はそれぞれ充分水洗した後 50~60°C で 24 時間乾燥した。添加した無機養分量は K_2HPO_4 100mg, $MgSO_4$ 30mg, $CaCO_3$ 100mg のほか窒素として $(NH_4)_2HPO_4$ をアカマツ、スギ無処理材料に対しては 450mg, コナラ無処理材料には 350mg, アカマツ、スギ、コナラ温水処理材料には 300mg, ヒメヤシアブシの各材料及びアカマツ、スギ、コナラの 2% HCl 処理材料には 250mg を添加した。培養温度は 28°C で結果を Fig. 6a, b に示した。

無処理材料の分解速度は前項と同様にはやかたつたものから順にヒメヤシアブシ>コナラ>アカマツでスギはアカマツと大差がなかつたが、30日間の CO_2 発生量でアカマツより僅かに多かつた。温水処理によつてエーテル可溶物、水溶性物質を除去すると分解当初の CO_2 発生量のある程度の低下が認められたが実験期間の終期には無処理材料とはほぼ等し

くなり分解速度は平行し、30日間の CO_2 発生量もヒメヤシアブシを除き無処理材料と大差がなかった。ヒメヤシアブシでは温水処理の効果が4樹種中最も大きく30日を経過してもなお毎日の CO_2 発生量において無処理材料よりやや少なかつた (Table 10, Fig. 6c)。しかし無処理材料との差は徐々に小さくなり実験期間の終期では極めて小さかつたから他の樹種と同様その分解速度はやがて無処理材料とほぼ完全に平行すると思われる。これらエーテル抽出物、水溶性部分の分解速度に及ばず効果はヒメヤシアブシを除き大きいものではなく、分解初期にのみ限られヒメヤシアブシでも約20日を経過すると無処理材料との差は極めて小さくなる。2% HCl でさらにヘミセルローズ部分を除去すると各樹種ともに分解速度は著しく低下し30日間の CO_2 発生量と比較すると無処理材料の35~40%となつた。しかも無処理材料との CO_2 発生量の差は30日後でもなお認められひきつづき大きく

なると考えられる。これら処理の影響のあらわれかたを無処理材料との CO_2 発生量の差の変化として図示すると Fig. 6c となる。また CO_2 の総発生量は Table 10 に示した。

Fig. 6b

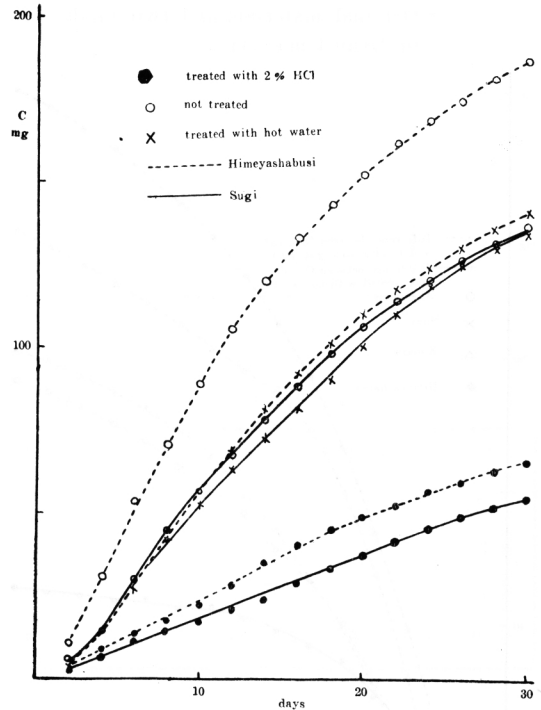


Table 10. Influence of treatment with hot water and with 2% HCl on the decomposition of forest litter. (On the basis of 5g of original material, Cmg as CO_2 evolution)

	Pinns densiflora			Cryptomeria japonica			Quercus serrata			Alnus pendula		
	Original	hot water	2% HCl	Original	hot water	2% HCl	Original	hot water	2% HCl	Original	hot water	2% HCl
days 1~6	30.4	21.6	9.4	29.8	27.6	11.1	43.3	27.2	10.9	52.9	28.4	13.7
25~30	13.4	13.5	7.1	15.6	16.4	9.3	19.1	23.1	11.0	18.5	16.5	9.6
1~30	124.3	120.4	48.0	136.1	135.5	55.2	165.4	156.7	66.2	186.3	140.9	66.3

温水処理材料と2% HCl 処理材料との CO_2 発生量の差の変化を Fig. 6d に図示した。これは主としてヘミセルローズの分解量を示すものと考えられ、その分解量はコナラで最大でスギがこれにつきヒメヤシアブシ、アカマツはほぼ同量であつた。この量の無処理材料の CO_2 発生量に対する割合を求めるとアカマツ 58.2%, スギ 59.0%, コナラ 54.7%, ヒメヤシアブシ 40% となり、アカマツ、スギでは初期の分解量の約60%がこの部分の分解によつていたに対しヒメヤシアブシではこの値が最も小さかつた。すなわちこれら落葉の30日間の分解にこの部分が重要な役割をもつていたといえよう。しかし Table. 4. 9 によれば各樹種でヘミセルローズ含有量に違いがあるから、仮にヘミセルローズの単位量に対する CO_2 発生量を求めるとアカマツ 6.3, スギ 8.5, コナラ 7.7, ヒメヤシアブシ 8.5 となりヒメヤシアブシ、スギでヘミセルローズの分解量が大きくアカマツで小さかつたように思われる。温水処理、2% HCl 処理の効果はともにヒメヤシアブシで特に大きくコナラ、スギ、アカマツの順に小さくなるがスギとアカマツとの間に著しい差異は認められない。各樹種の成分分析結果

Fig. 6c Difference of Cmg as CO₂ between Original materials and two kinds of treated materials.

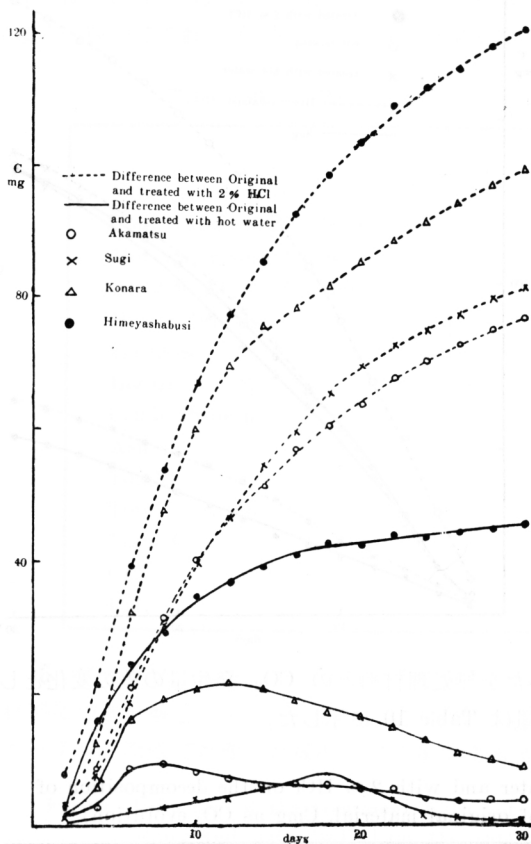
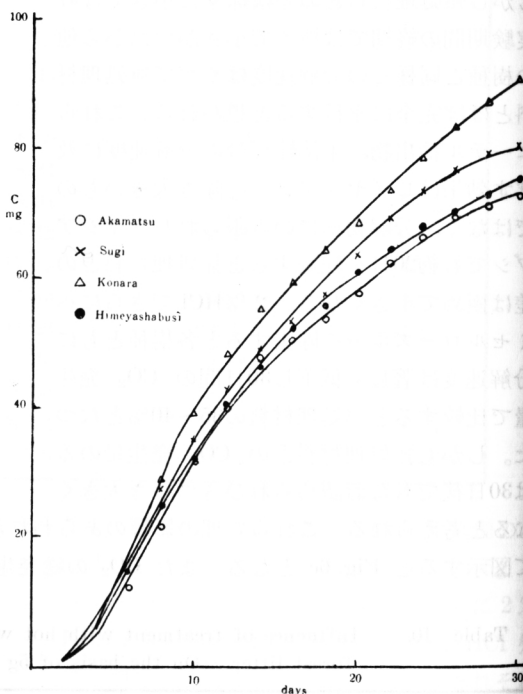


Fig. 6d Difference of Cmg as CO₂ between materials treated with hot water and with 2% HCl.



(Table 4. 9) によれば除去された各組成分の量的比較だけからこのような処理の影響のあらわれかたを説明できないようである。無処理材料では分解速度はヒメヤシアブシ>コナラ>スギ>アカマツの順であつたが温水処理材料ではヒメヤシアブシの分解速度が低下し30日間の CO₂ 発生量でコナラの方がやや大となり大きかつたものから順にコナラ>ヒメヤシアブシ>スギ>アカマツの順となり、2% HCl 処理材料ではコナラの分解速度の低下も著しくヒメヤシアブシ、コナラは同様でスギこれに つぎアカマツが最も少なかつた。2% HCl 処理材料ではセルローズとリグニンを主成分とする材料になるが、これらの含有量は樹種によつて違ひとくにヒメヤシアブシでは他の3者よりセルローズ量が少なかつたうえに絶乾基準 5g から調整した各材料の量は他の樹種より少なかつたので (Table 11), これらの点を考慮すれば 2% HCl 処理材料での分解速度はかなりはやかつたといえるであろう。

7. 2% HCl 処理材料とさらにこれを濃硫酸でセルローズ部分を除去した残渣、すなわち硫酸リグニンを求めその分解速度を比較した。2% HCl 処理材料は各樹種ともに絶乾基準 5g より得たもので硫酸リグニンは絶乾無灰物基準で 2g であつた。各材料に対して (NH₄)₂HPO₄ 250mg, K₂HPO₄ 50mg, MgSO₄ 50mg, CaCO₃ 100mg を添加し、28°C で培養した。その結果を Fig. 7, Table 12 に示した。

すなわち 2% HCl 処理材料の分解速度は Fig. 6 ab に示した場合と大差なく樹種間の違いも全く同様の結果をえた。この材料からさらに濃硫酸でセルローズ部分を除去すると分解速度はさらに低下し、2g の材料から42日間に 40mg 前後の C を CO₂ として発生したのみで樹種間の差異はほとんどなかつ

Table 11. Dry weight (g) of the materials treated with hot water and with 2% HCl.
(on the basis of 5g of original matter)

	Hot water treated	2% HCl treated
<i>Pinus densiflora</i>	3.815	2.865
<i>Cryptomeria japonica</i>	3.835	2.960
<i>Quercus serrata</i>	3.765	2.775
<i>Alnus pendula</i>	3.092	2.625

Table 12. Decomposing rate of the materials treated with 2% HCl (on the basis of 5g of original matter, and acid lignin (2g), Cmg as CO₂).

	<i>Pinus densiflora</i>		<i>Cryptomeria japonica</i>		<i>Quercus serrata</i>		<i>Alnus pendula</i>	
	2% HCl	acid-lignin	2% HCl	acid-lignin	2% HCl	acid-lignin	2% HCl	acid-lignin
days 1~9	13.2	14.7	19.0	16.0	18.1	13.4	21.5	14.9
34~42	12.0	4.7	8.5	5.3	10.3	3.7	9.9	4.5
1~42	57.3	39.7	63.1	41.4	71.4	34.5	74.7	40.0

た。ここでは主としてリグニンのみよりなると思われるがなお少量の窒素を含むほか少量の易分解性有機物を随伴していると考えられる。分解初期の CO₂ 発生量が 2% HCl 処理材料に近似した値を与えるのは真のリグニンの分解によるというよりこれら真のリグニン以外のものの分解が関係しているようである。実験期間の終期には CO₂ 発生量は極めて少なくなった。これら材料の分析結果は Table 13 に示した。

原材料 5g からえられる リグニンは灰分、窒素を含んだ形で、その量はそれぞれ、アカマツ 1.579g, スギ 1.724g, コナラ 1.638g, ヒメヤシアブシ 1.482g となる。上述の結果から原材料 5g のリグニンの分解量を求め 2% HCl 処理材料との差によつて 42 日間のセルローズの分解量を推定するとアカマツ 25.9mg, スギ 27.4mg, コナラ 43.1mg, ヒメヤシアブシ 45.1mg となり樹種間の差はかなり明瞭で大きいものから順にヒメヤシアブシ>コナラ>スギ>アカマツとなつた。また

セルローズ単位量当りの分解量を比較するとアカマツ 3.3, スギ 4.1, コナラ 6.4, ヒメヤシアブシ 10.1 でヒメヤシアブシでとくに分解が速かつたことがうかがわれよう。しかしヒメヤシアブシではリグニン、2% HCl 処理材料ともに窒素含有量が他に比して著しく多かつた。このような材料中での窒素化合物の分解については不明であるが、ヒメヤシアブシの 2% HCl 処理材料で分解当初 CO₂

Fig. 7 The rate of decomposition of the materials treated with 2% HCl (on the basis of 5g of original matter) and acid lignin (2g).

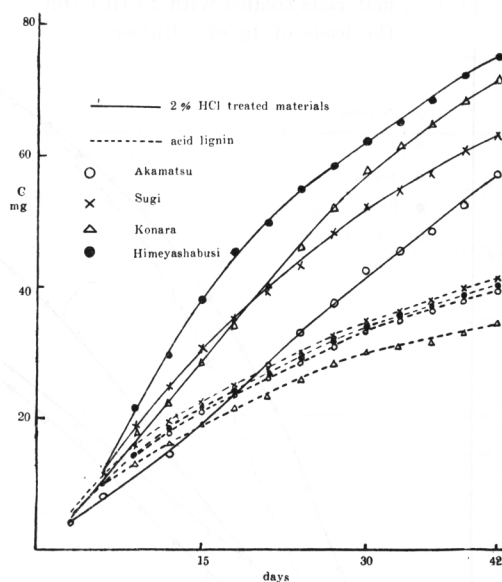


Table 13. Chemical composition of materials. (% on dry basis)

	2% HCl treated material						acid lignin		
	yield	N	Ash	cellulose	lignin*	L/C	yield	N	Ash
<i>Pinus densiflora</i>	57.3	0.64	1.02	27.43	55.11 (52.34)	2.01	31.57	0.64	1.03
<i>Cryptomeria japonica</i>	59.2	0.88	1.57	22.60	58.24 (54.89)	2.58	34.47	0.74	1.13
<i>Quercus serrata</i>	55.5	1.16	3.62	24.27	59.03 (54.39)	2.43	32.75	0.92	2.10
<i>Alnus pendula</i>	52.5	3.29	2.44	16.97	56.46 (48.03)	3.33	29.64	1.99	2.49

※ 関西林学会四国大会講演集 (P. 50. 1953) 記載の数値は誤記であつた。

※※ Ash and protein free.

発生量がとくに多かつたのは多分窒素化合物の多かつたことがその原因の一つであろう。しかし同じ樹種のリグニンの分解は窒素の多量にかかわらず他よりはやかつたとはいえない。また濃硫酸処理でリグニンの変質することがあるから 2% HCl 処理材料と硫酸リグニンの分解速度から求められたセルロースの分解量は、とくにヒメシアブシの場合すべてがセルロースの分解に由来するものと考えすることはできないようである。一方リグニンとセルロースの量的関係からヒメシアブシではリグニン/セルロース (L/C) は 3.33 で他より大であつたが 2% HCl 処理材料の分解は比較的はやく、単に L/C 及びセルロース、リグニンの量的比較だけで樹種間の分解速度の差を説明できないようである。

2% HCl 処理材料では実験期間の後半においてリグニンより CO₂ 発生量が多く漸次セルロースが徐々に分解されてゆく傾向を示しているとしても、セルロース 42 日間の分解量をヘミセルロースの 30 日間のそれと比較するとセルロースの分解量が著しく少なかつたといえるであろう。

これは多分共存するリグニンがセルロースの充分な分解を妨げていたためではないかと考えられる。

8. 2% HCl 処理材料における分解速度をセルロース部分を基準として比較しよう。各樹種ともセルロース 1g を含む試料をとり、濾紙よりえたセルロース 1g の分解と比較しながらその分解速度を調べた。無機養分添加量は前項に準じ 28°C で培養した。その結果を Fig. 8, Table 14 に示した。

すなわち分解速度ははやいものから順にヒメシアブシ>コナラ>スギ>アカマツとなつたがヒメシアブシでは著しくはやくセルロースの分解と近似したが、スギ、アカマツ両者の差はほとんど認められずともにおそかつた。しかし実験期間の終期における CO₂ 発生量の樹種間の差は小さくなる傾向があつた。いずれの材料でも分解当初の CO₂ 発生量はセルロースのそれより大であつたのは多分随伴する少量の易分解性有機物、蛋白質などの

Fig. 8 The rate of decomposition of the materials treated with 2% HCl. (on the basis of 1g of cellulose)

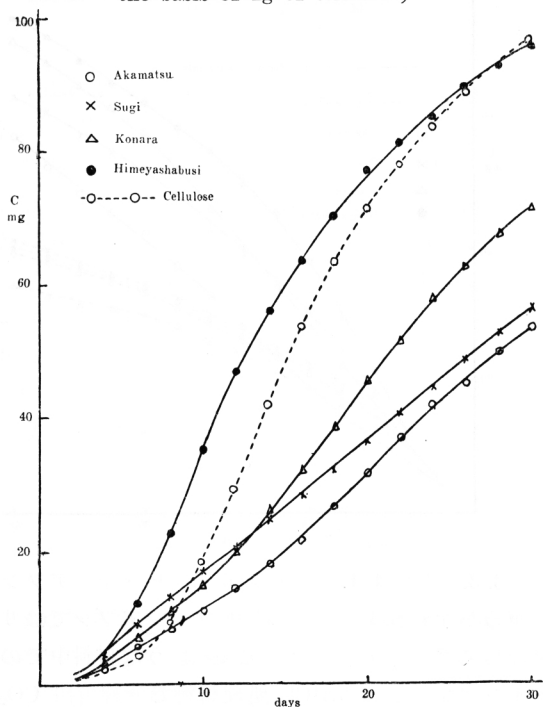


Table 14. Decomposingrate of the materials treated with 2% HCl and cellulose. (on the basis of lg of Cellulose, Cmg as CO₂ evolution)

	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Quercus serrata</i>	<i>Alnus pendula</i>	Cellulose
days 1~6	5.54	9.03	7.17	12.17	4.59
25~30	12.0	11.9	13.8	10.3	12.8
1~30	53.8	56.3	71.4	95.4	96.4

影響が大きかったと考えられる。ヒメヤシアブシではセルローズ含有量が少なかったため、その 1g 基準の材料重はより多量のリグニンを含むが、単離されたリグニンの分解速度は同じ重量で比較して他の樹種と差異がなかった。従つてここでは材料重が大であつたこと、及びとくに多量の窒素化合物を含むことなどが分解当初の著しい CO₂ 発生量にある程度の影響があつたと考えられるが、原材料で他の樹種より分解の速かつたこの樹種の落葉は 2% HCl 処理材料においてもなお分解に有利な性質をもつていたと見ることができよう。前項でも見られたと同様に、2% HCl 処理材料ではセルローズ 1g 基準にとつて分解せしめてもコナラ、アカマツ、スギではセルローズ 1g の分解に比べて著しくおそく共存するリグニンがこれら材料中でセルローズ部分の分解に抑制的な影響をもつていたと考えられる。

9. 落葉材料中のリグニンがセルローズの分解にどのような影響をもつかを調べるため、2% HCl 処理材料をさらに 4% NaOH により室温で 48 時間、及び 5 時間煮沸することによつてそれぞれある程度のリグニンを除去した材料をつくりそのセルローズ 1g 基準の材料で分解速度を比較した。添加した養分量は前項に準じ、培養温度は 28°C であつた。4% NaOH の処理によつて失われたリグニン量は樹種によつて異なるが、その組成分析結果は Table 15 のようで、コナラではとくにスギ、アカマツに比し NaOH で失われたリグニン量が多いようであつた。その分解速度は Fig. 9a, b 及び Table 16 に示した。

Table 15. Chemical composition of materials. (% on dry basis)

	2% HCl			4% NaOH (room temp. 48hr)			4% NaOH (boil 5hr.)		
	Cellulose	Lignin	L/C	Cellulose	Lignin	L/C	Cellulose	Lignin	L/C
<i>Pinus densiflora</i>	27.43	55.11	2.01	36.77	57.79	1.57	60.43	36.28	0.60
<i>Cryptomeria japonica</i>	22.60	58.24	2.58	28.55	62.05	2.17	54.36	33.88	0.72
<i>Quercus serrata</i>	24.27	59.03	2.43	37.03	56.28	1.52	63.05	32.55	0.52
<i>Alnus pendula</i>	16.97	56.46	3.33						

いづれの樹種でもリグニンを除去し L/C の低下するとともに分解速度がはやくなりとくに加熱処理材料ではセルローズの分解と極めて近似した傾向を示した。この材料ではセルローズのほか少量のリグニンを伴うが、すでに示したように硫酸リグニンの分解はおそくしかも樹種による差はほとんどなかった。単離されたリグニンが植物材料中にあるときよりも分解により抵抗的となつていたとしても、含まれるリグニン量が少ないうえに分解過程はセルローズのそれと近似するので、ここでの分解の大部分はセルローズのそれに負うものと考えて差支えないであろう。従つてこれら材料中でのセルローズはほぼ充分に分解されたと考えられる。室温処理材料でも約 2 週間を経過すると 2% HCl 処理材料より 3 樹種ともに分解速度が大となるのは主としてセルローズの分解によるもののようである。

Fig. 9a Influence of the treatment with 4% NaOH on the rate of decomposition. (on the basis of 1g of cellulose)

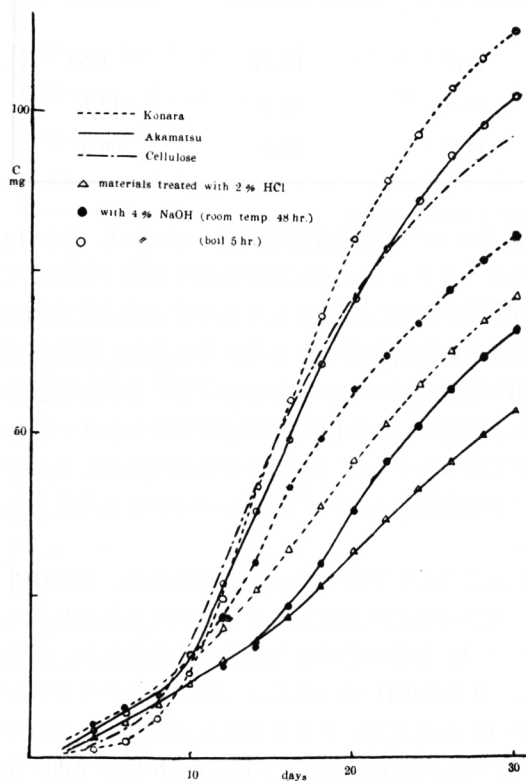
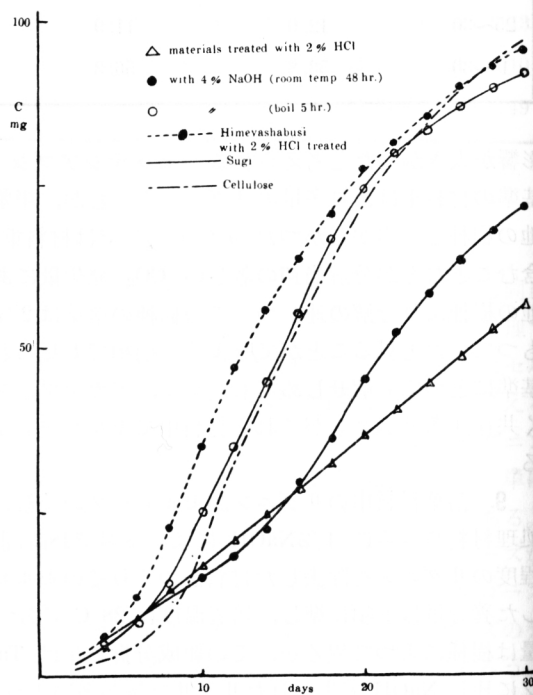


Fig. 9b



セルロースの分解による CO₂ 発生量と各処理材料との差の変化をアカマツとコナラについて図示すると (Fig. 9c) 実験期間の終期にはセルロースとの差はほとんどなくなり各材料の分解速度はほぼ平行するようである。

三樹種中コナラはいつでも分解速度が最も早く NaOH 室温処理, 2% HCl 処理の材料では L/C

Fig. 9c Difference of Cmg as CO₂ between Cellulose and various treated materials.

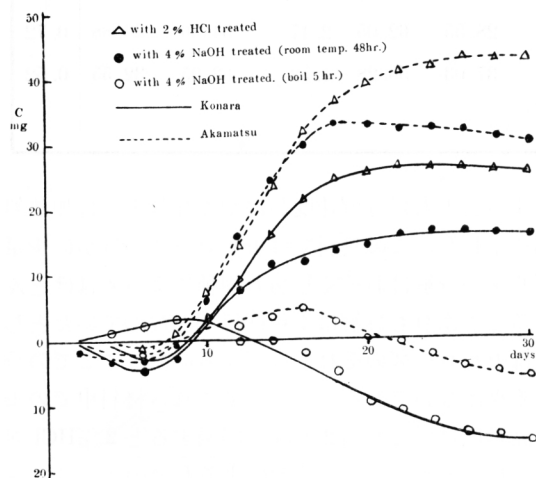


Fig. 9d The relation between L/C and CO₂ development.

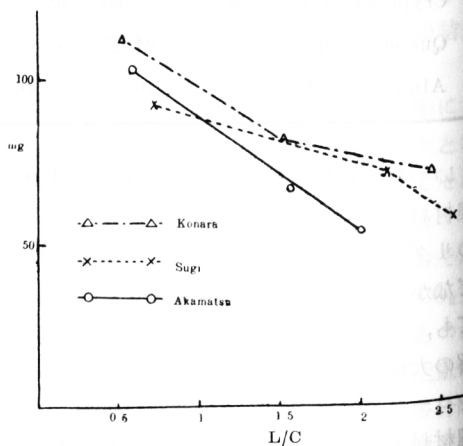


Table 16. Influence of treatment with 4% NaOH on the decomposition of forest litter.
(on the basis of 1g of cellulose, Cmg as CO₂ evolution)

	Pinus densiflora			Cryptomeria japonica			Quercus serrata			Cellulose
	2% HCl	4% NaOH (cold)	4% NaOH (hot)	2% HCl	4% NaOH (cold)	4% NaOH (hot)	2% HCl	4% NaOH (cold)	4% NaOH (hot)	
days 1~6	5.54	7.66	7.0	9.0	9.5	8.3	7.2	9.1	2.3	4.6
25~30	12.0	14.9	16.6	11.9	13.3	8.9	13.8	13.8	16.1	12.8
1~30	53.8	66.3	102.7	56.3	71.2	91.7	71.4	81.3	112.5	96.4

がアカマツと同様かまたは大であつたが30日間の CO₂ 発生量は明らかにアカマツより多かつた。逆にアカマツでは2% HCl, NaOH 室温処理の材料ともにスギに比し有利な状態を示しながらその分解速度に大差がなかつた。

各樹種について L/C の低下と分解量の増大の関係を図示すると Fig. 9d のようになる。しかしこの結果から L/C の低下にともなう分解量の増大が樹種毎に違ふかどうかは不明で、細胞膜中に存在する状態でのリグニン、及びセルローズの分解についてはさらに実験を行う必要がある。

10. アカマツ、コナラ落葉を用い、硫酸及び塩酸と燐酸の混酸の両法によつてリグニンを単離し、(硫酸リグニンと混酸リグニン)、濾紙を細粉してえたセルローズと混合した材料について分解速度を求め、単離されたリグニンの分解速度を知るとともにセルローズの分解速度に与える影響を求めた。

先ずアカマツ、コナラ落葉の硫酸リグニンをういセルローズ 2g (絶乾基準) を基準として L/C が 0.5, 1, 2 になるようリグニン (絶乾無灰物基準) を混合した材料について分解速度を調べた。このほかスギ、ヒメヤシアブシの硫酸リグニンについては L/C を 1 として樹種間の比較を行い、セルローズ (絶乾 2g)、リグニン (絶乾無灰物 2g) の分解速度をも測定した。添加した無機養分量はセルローズとリグニン混合材料 4g に対し (NH₄)₂HPO₄ 300mg, K₂HPO₄ 200mg, MgSO₄ 100mg, CaCO₃ 100mg を、セルローズ 2g に対しては (NH₄)₂HPO₄ 200mg, K₂HPO₄ 100mg, MgSO₄ 50mg, CaCO₃ 100mg で 28°C で培養した。

Fig. 10a, b に示されたように硫酸リグニンを混合しても分解速度は抑制されないでセルローズの分解と近似した傾向を示し、混合材料中でセルローズはリグニンの存在にかかわらずほぼ充分に分解されたといえよう。リグニンの分解速度はアカマツ、コナラともにセルローズに比べ著しくおそく26日間の CO₂ 発生量においてもセルローズの約 $\frac{1}{10}$ にすぎなかつた。しかもその約 $\frac{1}{10}$ は当初約10日間で発生したものであつた。セルローズ・リグニン混合材料でリグニンの多くなるほど CO₂ 発生量が増加しとくに初期に明らかに大であつたのは主としてリグニン部分の分解に由来するものであろう。従つてここでは単離されたリグニンをセルローズと混合しても充分な窒素及び無機養分を与えた条件の下でリグニンがセルローズの分解に有害な作用を与えていたとは考えられない。またアカマツ、スギ、コナラ、ヒメヤシアブシの樹種間の差も明らかではなかつた。

塩酸・燐酸の混酸で処理してえたアカマツ、コナラ落葉の混酸リグニンをうい、エチル・アルコール中でセルローズとよく混合し、後アルコールを追出した材料について同様の実験を行つた。セルローズ絶乾基準 1g を基準とし L/C をそれぞれ 0.5, 1, 2, 4 としリグニン、セルローズ (各々絶乾 1g) の場合と比較しながら分解せしめた。ただしここでは水分を 200% とした。

Fig. 10. c, d に示されるようにここでも前述の結果と近似した傾向を得た。

混酸リグニンでもその分解速度はセルローズに比し著しくおそく46日間の CO₂ 発生量で比較すると約 $\frac{1}{10}$ で、26日間では約 $\frac{1}{14}$ であつた。セルローズの一定量に対しリグニンの混合量を増加して L/C

Fig. 10a Influence of isolated lignin on
cellulose decomposition.
(on the basis of 2g of cellulose)

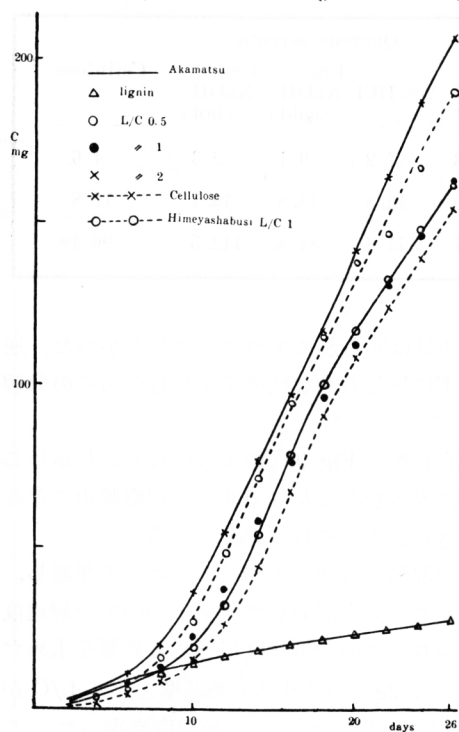


Fig. 10b

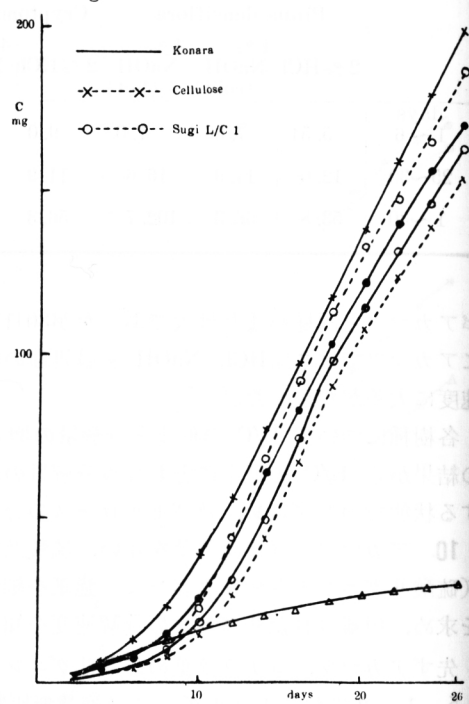
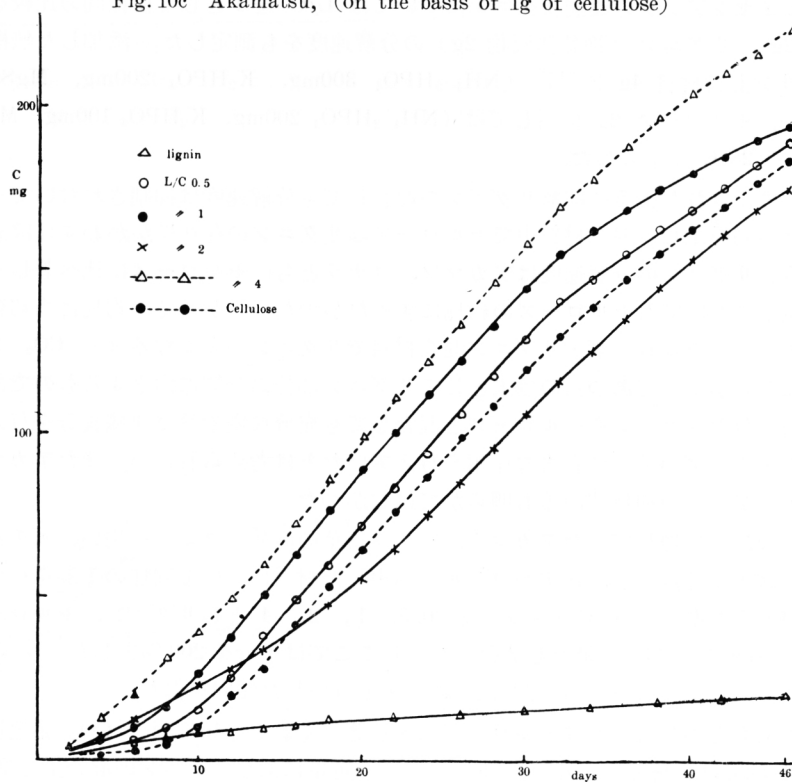


Fig. 10c Akamatsu, (on the basis of 1g of cellulose)



を大きくしてもセルローズの分解は抑制されることなく、むしろ L/C が大となるほど初期の CO_2 発生量は大きであつた (Table 17)。しかし実験期間の終期には混合材料の CO_2 発生量はセルローズのそれに比しやや低下したように思われる。

アカマツ、コナラ両リグニンについてセルローズの分解に対する影響のあらわれかたに差異を認め難く、リグニンの単離法の違いによる著しい差異も認められなかつた。従つて単離されたリグニンは

分解に充分な条件、無機養分の与えられた場合その共存によつてセルローズの分解に何ら有害な影響を与えるものではないと考えられる。

Fig. 10d
Konara

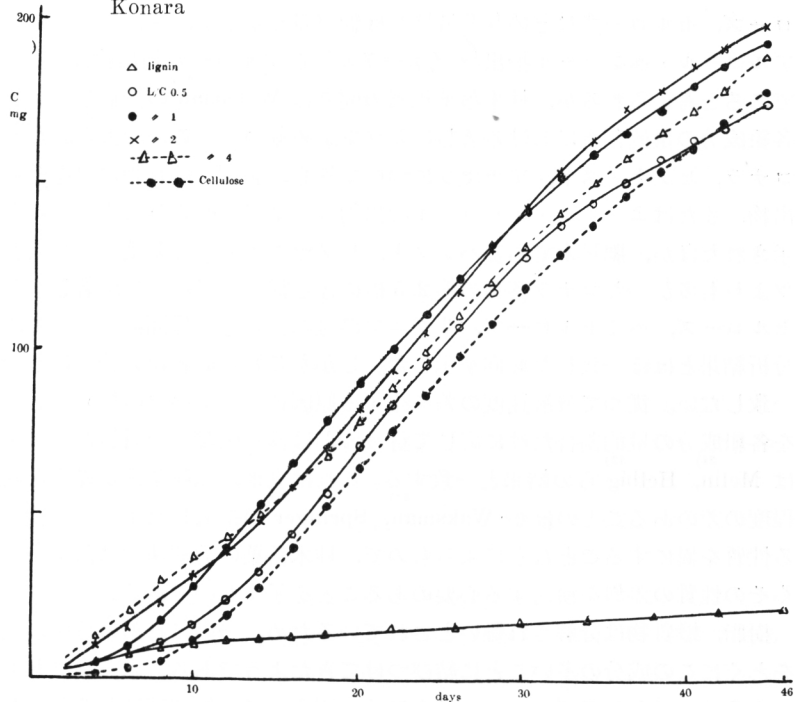


Table 17. Influence of isolated lignin on cellulose decomposition.
(on the basis of 1g of cellulose, Cmg as CO_2 evolution)

	Lignin	L/C 0.5	L/C 1	L/C 2	L/C 4	Cellulose
Pinus densiflora						
days 1~6	5.0	5.6	10.2	12.3	20.2	3.0
41~46	2.1*	19.5	14.5	21.9	19.1	20.6
1~46	20.9	187.9	193.8	174.7	222.1	182.9
Quercus serrata						
1~6	7.0	7.2	9.3	15.7	20.6	
41~46	1.7*	15.7	17.1	16.5	20.9	
1~46	22.1	179.6	198.3	203.5	193.8	

※ 39~46days の値

V. 考 察

従来は落葉の分解速度とその化学的な組成成分との間にある程度の関係が認められ、とくに Waksman によつて各有機組成成分の分解に対する性質が明らかにされて以来、これらの量的割合によつて異つた材料での分解速度の差異を説明しようとする試みがなされてきた。分解に有利な一定条件での分

解速度は主として落葉の化学的性質によつて決定されるであろうから、一般に水溶性物質、ヘミセルローズ、セルローズなどの易分解性有機物が多く窒素量、または蛋白質にとむことは分解に有利で、アルコール・ベンゾール抽出物（エーテル及びアルコール抽出物）、リグニンなどに富むことは不利であると考えられるが、林木落葉相互の間では Waksman⁴³⁾ の指摘したナラの葉とライ麦稈の場合ほど各組成分の量的割合における著しい差異を認め難い。ここに分析されたハンノキ、ヒメヤシアブシ、コナラ、ヒノキ、スギ、アカマツについて樹脂、脂肪、蠟質物などを含むアルコール・ベンゾール抽出物、またはエーテル・アルコール抽出物は針葉では明らかに広葉より多くほぼ2倍に達することが示されたほか、肥料木であるハンノキ、ヒメヤシアブシの落葉には窒素含有量が多く、スギ、アカマツよりも多かつたコナラ落葉の約2.5倍に達し従つて粗蛋白質が著しく多くなっていることのほかはセルローズ、ヘミセルローズ、リグニンの量的割合で樹種間に一定した明瞭な差異を認め難く従来の分析結果とはほぼ一致した傾向を示した。しかもこれらの各組成分の量と分解速度の遅速とは必ずしも一致しない。従つて分解速度の差を生ずる原因についていつの場合でも一般に妥当する一貫した説明を各組成分の量的割合だけに依つて行うことは甚だ困難で矛盾した結果を招く場合が多く、この傾向は Melin²⁴⁾、Helbig¹²⁾ らの結果と一致する。これは立地、気候条件が違つて同一樹種でもその性質にある程度の差のあることのほか Waksman⁴³⁾、Springer³⁹⁾ の指摘したように樹種により各組成分の分解に対する性質を異にすることなどによるもので、林木落葉の分解速度は落葉各組成分の量的な比較だけでなくその性質の差異を検討する必要があることを示すものである。

樹脂、蠟質物は分解され難いとされているため、一般に針葉の分解が広葉よりもおそいことの理由をとくにこの成分の多いことに結びつけてきたようである。本実験でもスギ、アカマツ、ヒノキではコナラ、ヒメヤシアブシ、ハンノキに比べ明らかに分解速度はおそかつた (Fig. 2, 5, 6)。しかしスギ、アカマツ落葉をエーテルで処理してこの成分を除去してしまつた材料でもとくに分解速度が促進されたとは考えられず、むしろ無処理材料よりある程度 CO_2 発生量が低下する傾向があつた (Fig. 3~5)。これは Waksman が *Pinus rigida* でえた結果と近似した傾向である。しかしセルローズや広葉にこの成分を加えるとある期間分解が抑制された。これはスギ、アカマツ落葉のエーテル抽出物は Fig. 3~5 を通じて明らかなように第1日から盛んに分解をうけるというよりも数日後から徐々に分解をうける傾向があるよう従つてこれら成分を外部から加えるときは材料の上を被い最初の数日間は分解からある程度保護されたということによるのであろう。数日後分解をうけてこれらの保護がなくなると各材料は自体本来の分解速度を示すので、この過程にスギ・アカマツ落葉のエーテル抽出物が積極的に有害な作用を与えていたとは考えられないようである。分解の抑制されている期間は被覆される材料の分解速度によつて違い、初期分解のはやいコナラ、とくにヒメヤシアブシでは短く、セルローズのように初期約1週間の CO_2 発生量の大きい材料では長くなっている。なお、コナラ、ヒメヤシアブシでは自体のエーテル抽出物のほかに加えられた10%のアカマツ・エーテル抽出物をあわせると、ほぼスギ、アカマツ、ヒノキの含有量に近づくと分解速度は無処理材料との間に著しい違いがおこらなかつた。これらの傾向は、スギ、アカマツの分解速度がコナラ、ヒメヤシアブシよりおそかつたことの原因をこの組成成分の多いことに結びつけることが出来ないことを示している。Melin²⁴⁾、Waksman⁴³⁾ は針葉のこの組成成分が直接分解を妨げていると考えられないことを示したが、ここでもスギ、アカマツのエーテル抽出物が分解を直接妨げていたとは考えられず、これら樹種の分解のおそいことの直接の原因となつてゐるものではないようである。一方スギ、アカマツ落葉のエーテル処理、無処理材料の分解速度の違いは概して著しく大きいものではなく、またコナラ、ヒメヤシアブシに対しアカマツ・エーテル抽出物を加えた材料では、加えられたエーテル抽出物の量 (0.5g) だけ無処理材料より試料重が大となつてゐるが、そのことによつて54日間の CO_2 発生量が増加したという明らかな事実はなかつたから (Fig. 5)、これら成分の初期の分解速度は本実験の範囲内では概して著しくはやかつたと考えることはできないが、分解の進行とともに比較的是やく減少していく傾

向がある^{29) 30) 39)}とされ、ここでもひきつづき分解が行われていく傾向が認められた。しかしなお針葉では広葉よりもこの成分が著しく多いということは、それが積極的に分解に有害な作用を与えてはいなくとも初期に分解され難い物質をより多量にもつことのために広葉に比し少なくとも初期の分解に不利な条件と考えられる。また宮崎も耐乾性樹種の枝葉は蠟質物、脂肪、樹脂を多く含み、あるいは角質厚く分解困難であるとし、広葉樹でも厚質の堅硬なものは柔軟なものより分解がおそいとのべたように、針葉では葉の外面にクチクラや下皮の発達の著しいものがあるほか蠟質物を分泌しているものがあるから、実際にはセルローズや広葉にエーテル抽出物を加えたときに見られたような分解抑制効果のあらわれる場合があろう。

窒素含有量もまた分解速度の決定に大きな影響をもっており、とくに C/N ratio の大小が分解速度と概略的な関係をもっていることが知られている。一般に針葉は広葉よりも窒素量が少ないことが多く、分解の難易性の説明にこのような事実がしばしば用いられてきたようである。ここでも窒素量の大きいものほど分解速度がはやくスギ、アカマツの窒素量はコナラ、ヒメヤシアブシよりも少なく、分解速度もまたおそかった。このような窒素に乏しい落葉では無機養分添加の分解速度に及ばず影響は大きかった (Fig. 4, 5) が、Ca の効果が明らかでないうえ Mg やリン酸が主として CO₂ 発生量の著しい増加に関与したとは考えられないので、この影響の主たる原因は無機態の窒素の添加にあつたと考えて差支えないであろう。このことは別に報告したことによつても明らかである。従つて無機養分、とくに可給態窒素の不足がアカマツ落葉の当初の分解がおそかったことの理由の一つにあげられるが、この傾向は同様にコナラについても妥当し、しかも充分の無機養分の存在の下でもなお分解速度は明らかにアカマツ、コナラ、ヒメヤシアブシの間に差が認められたから (Fig. 5)、アカマツ落葉の分解が他に比しておそかった原因を無機養分とくに可給態窒素の不足だけに求めることはできないようである。Melin²⁴⁾ も異樹種間では窒素量と分解速度との関係は密接ではないとした。しかし添加された窒素の効果は分解の進行とともに徐々に小となり無処理材料の分解速度とは平行する傾向が認められ、Broadfoot²⁾ ら、Springer³⁹⁾ は長期間の分解速度と窒素量の大小との間には明瞭な関係が認められないとしている。これは多分、分解初期では窒素の影響を著しくうけるヘミセルローズ、セルローズなどの分解が盛んなため可給態窒素の効果があらわれるとしても分解がさらに進むと加えられた窒素有機態化し分解により抵抗的な形となることのほかに有機物は漸次分解され難い状態に近づき、また有機物の性質が違³¹⁾うと窒素の効果にも違いがあることなどのため窒素の影響は明らかではなくなると考えられる。

すでにのべたようにエーテル抽出物はアカマツの分解に何ら有害な作用を与えていないと考えて差支えないようである。従つてこれら 3 樹種の分解速度を比較するためにはそのほかの組成分の分解速度についても検討する必要がある。ヒメヤシアブシでは冷水抽出物が他よりやや多いがヘミセルローズ、セルローズの量が逆に少なく (Table 4. 9) 54日間の CO₂ 発生量の差 (Fig. 5) を冷水抽出物の多少で説明することは困難である。蛋白質の量はヒメヤシアブシでコナラに比し約 3 倍に達し、この成分は微生物によつて容易に分解をうけるからその速かな分解の一つの原因をこの成分に求めることは不可能ではない。しかし水溶性物質、ヘミセルローズ、リグニンなど植物の種類によつてその性質が違いそのうえリグニンのように他の組成分の分解と密接に関係をもつものがあるからこれらの分解に対する性質について吟味する必要がある。

一般に水溶性物質は極めて速かに分解をうけるとされているがヒメヤシアブシでは温水処理によつてエーテル抽出物をも含めて水溶性物質を除去すると他のスギ、アカマツ、コナラに比して分解速度の低下が大きく (Fig. 6)、とくにこの成分が初期の分解速度にかなり大きな影響をもつていたようである。しかしこの成分の分解は初期約 2 週間の間に著しく、その後は無処理材料の分解速度とほぼ平行する傾向がみられた。この傾向はすべての樹種で認められ、初期にはやく分解されるとしてもこの部分の影響は極めて初期のみ限られるという Broadfoot²⁾ らの結果と同一の傾向を示した。スギ、アカ

マツでは処理の影響は著しくはなく (Fig. 6), この成分の存在が初期の分解速度にほとんど関係していないように思われる。冷、温水抽出物はヒメシヤブシ15.45%, コナラ 15.44%でアカマツ、とくにスギではこれより少なかったとはいえ (12.81%, 7.16%), 温水処理の効果のあらわれかたは水溶性物質の量的割合に無関係でこれらの分解に対する性質が樹種によつて違いのあることを示すものといえよう。しかし別に報告したようにアカマツ落葉にグルコースやセルローズを添加すると初期の分解速度は増大するから、易分解性有機物が多いほど初期の CO_2 発生量は明らかに多くなる。従つて Melin²⁴⁾ が *Betula papyrifera* で認めた傾向の場合のように水溶性物質の量的な割合は同一樹種の間ではその分解速度とある程度関係があつたとしても、樹種が違つてそれは分解速度と直接の関係はないものと考えられる。このほかにこれらの樹種の温水処理材料の分解速度については Koch¹⁵⁾, Wol-⁵⁷⁾lny¹⁰⁾, Handley¹⁰⁾ らによつて指摘された分解に有害なタンニンが温水にとけて除去されることの効果を考慮する必要がある。

スギ、アカマツの初期の分解の約60%はヘミセルローズの分解によるもののようでヒメシヤブシでも40%に達した (Fig. 6)。ヘミセルローズ部分の分解量の全分解量に対する割合がヒメシヤブシでとくに小さいのは水溶性部分の分解量が他よりも大きかつたことやヘミセルローズ含有量が違うからで、従つてヘミセルローズ単位量に対する CO_2 発生量を比較するとヒメシヤブシ、スギで大きく、コナラがこれにつき、アカマツで最も小であつた。しかしこの分解量は原材料の分解速度と一致せず分解のおそい落葉のヘミセルローズが常により分解の速い落葉のそれよりおそいかどうかは不明である。しかし初期の分解にはこの部分が重要なエネルギー因子として作用することは確かなことのように、分解のおそい樹種ほどこの部分の分解量の全分解量に対する割合が大きくなる傾向があつた。ヘミセルローズとリグニン比は各落葉で著しい違いがなかつた (Table 4.9.) が、原材料の分解速度はかなりの違いが認められ、Rege³³⁾ のいうペントーザン/リグニン比は異樹種間の分解速度を正確に決定する因子とはなりえないようである。しかしここで求めたヘミセルローズ分解量は計算による推定値であり、材料は種々の化学的処理をうけているため本実験の範囲内では落葉の分解に伴うヘミセルローズの分解量が樹種別にどれ程違うかを判断することは困難である。

Nemec²⁹⁾ は針葉と広葉でペントーザンの減少の経過が違つてを示し、大政・森の結果によればスギ、アカマツ、ケヤキは分解のはやかつたクリ、コナラに比べヘミセルローズの減少量が少なかったようであるほか、Springer³⁹⁾ も材料の種類によつてヘミセルローズの分解速度が違つてを示した。植物の種類によつてヘミセルローズを構成している部分に違いがあり、また植物組織中でセルローズやリグニンとともに細胞膜を構成し、それらは互に密接な関係にあると考えられるほか、2% HCl 処理によつて失われるウロン酸複合体をも考慮する必要があるから、落葉の分解過程でかなり重要な役割をもつと考えられるこの部分の分解についてはさらに実験を繰返す必要がある。

2% HCl 処理材料の分解速度でみられたようにセルローズの分解はヘミセルローズよりも少なく、セルローズ 1 g を基準として分解させてもヒメシヤブシの場合を除き濾紙よりえたセルローズ 1 g の分解量より少なかった (Fig. 6~8)。しかしこれらの材料から NaOH でリグニンをある程度除去すると分解速度ははやくなり L/C の低下とともに分解速度は増加した (Fig. 9)。このような傾向はセルローズが細胞膜構成物質としてリグニンと結合し、リグニンの存在のために十分な分解が妨げられていることを示すもので、Waksman⁵⁰⁾ らの結果とよく一致する。一方単離されたリグニンを混合してもセルローズの分解は全く影響をうけなかつた (Fig. 10)。すでに Waksman⁵⁰⁾ らによつて指摘されたようにこれは多分リグニンが直接セルローズの分解に有害な作用を与えているのではなくて、落葉中でリグニンがセルローズと密接に結合しそのためセルローズの分解に対しリグニンが保護的な作用を与えていることによるのであろう。ヘミセルローズの分解がリグニンの存在によつてどれほど影響をうけているかは不明であるが、少なくともリグニンの含有量が高いことが Waksman⁴³⁾, Grosskopf⁸⁾ の指摘したように林木落葉分解速度の材や稲稈、麦稈など、よりリグニンに乏しくセルローズに富む材

料に比しおそいことの一つの大きな因子と考えられる。

Grosskopf⁸⁾ は L/C (リグニン：セルローズ比) の大小が分解速度を決定するとしたが NaOH 処理材料の分解で示されたように (Fig. 9), このことは少なくとも同一樹種では妥当するようである。

しかしヒメヤシアブシでは L/C が最も大であつたにもかかわらず 2% HCl 処理材料の分解速度は最もはやく、アカマツは逆に最も小であつたが分解速度は最もおそかつた。とくにこの関係は 2% HCl 処理材料でそれぞれセルローズ 1 g 基準にとつて分解せしめた場合 (Fig. 8. Table 14) に明らかで、その分解速度の順位は原材料のそれと一致した。すなわちヒメヤシアブシでは多量のリグニンの共存にもかかわらずその分解は盛んでセルローズ、リグニンを主な成分とするこの材料においてもなお他の落葉に比べ分解されやすい性質をもつていたことを示すものといえよう。このことは同時に L/C と分解速度との関係は樹種が違つたとそのままでは妥当しないことを示すもので、L/C と分解速度との関係はさらに実験を行う必要があるとしても、分解のはやい落葉ではおそいものより L/C が大きくてもはやく分解する傾向があつた。

単離されたリグニンの分解速度はアカマツ、スギ、コナラ、ヒメヤシアブシともに著しくおそくリグニンの分解に対する大きい抵抗性を示し従来の結果と一致したが、4 樹種の間で著しい分解速度の⁵⁰⁾ 違いはなく窒素量の多かつたヒメヤシアブシでとくにはやかつたということはなかつた。Waksman⁴⁾ も指摘したように単離されたリグニンはその単離の方法によつて植物組織中にあつた状態とは著しく性質を異にし、同時に微生物の分解に対してもより抵抗的となるから、とくに濃酸で処理してえたリグニンではその分解速度がそのまま落葉組織中にあつた形のリグニンの分解速度を示すものとは考えられない。従つて単離されたリグニンの分解速度から原材料や 2% HCl 処理材料中でのリグニンの分解速度を推定することは正確さを欠くと思われる。一方 Waksman⁴⁾ は植物の種類によつてリグニンの分解速度に差異があるとし、豆科植物のリグニンは分解されやすく²¹⁾、また広葉のリグニンは針葉のそれよりも分解され易い³⁰⁾ という。セルローズの分解はリグニンの消失と密接に関係し、2% HCl 処理材料の分解速度と L/C の大小とは樹種が違つたと全く無関係のようである。すなわちそれぞれ樹種に特有の性質が各成分の分解の難易性に関係すると思われるが、これら材料中でセルローズやリグニンが実際にどれ程分解をうけたかは不明で、これらの点につきさらに追究する必要がある。このほかヒメヤシアブシでは原材料、2% HCl 処理材料、リグニン中に含まれる窒素量が他の樹種より多く (Table 4. 9. 13) 原材料や 2% HCl 処理材料で当初の分解が著しくはやかつたことにこの窒素化合物の存在がある程度¹¹⁾ の関係があつたように思われる。

原はネムノキ落葉はクロマツに比し著しくはやく分解したと報じたがここでもヒメヤシアブシ落葉の分解速度はコナラ、スギ、アカマツに比べてはやかつた。同時にその水溶性物質や主としてリグニン、セルローズより成る 2% HCl 処理材料の分解速度もまた他の樹種よりはよいようで、一般にその各組成分は極めて分解されやすい性質のものようであつた。落葉材料中の蛋白質は比較的速かに分解されるほか窒素源として重要な役割をもつ⁴⁹⁾ で、とくに蛋白質にとむことは分解に有利な性質と考えられる。しかし本報では充分な可給態窒素及び無機養分の存在のもとでの分解を主としたから蛋白質にとむことがこの樹種の分解にどれほど有利に作用していたかは不明である。すでに報告した⁴⁰⁾ ように分解に関する条件、すなわち温度、水分の変化に応ずる分解速度の違いはヒメヤシアブシではアカマツ、コナラなどに比して少なく条件が不良であつてもかなりの分解を示し、Wittich⁵⁶⁾ もまた蛋白質にとむ落葉の分解がはやくそのうえ分解のための条件が悪くなつてもかなりはやく分解される傾向があるとのべたが、これは多分このような樹種の各組成分が分解されやすい性質のものであつたことと関係があるように思われる。これに対しアカマツは各組成分の量的割合において他の樹種と同様または有利な条件をもつていたが、そのエーテル抽出物、水溶性部分は一般に分解され難く初期の CO₂ 発生量にはほとんど影響をもたず、2% HCl 処理材料の分解速度もおそいので概してその各組成分ともに分解され難い性質をもつようである。このような傾向は各組成分の単なる量的比較⁵⁶⁾ だけから樹種間の

分解速度の差異が決定されるものではなくて、樹種により違う各組成分の分解の難易性が大きな影響をもつことを示すものといえよう。

なお CO_2 発生の経過は日数とともに変化し原材料や温水処理材料のように当初分解をうけやすい成分をもつ場合には分解当初に樹種の差が大きく日数の経過とともに差が小さくなつてゆく傾向があった。これは分解に伴つて分解されやすい組成分が分解されてしまい分解され難いものが残されるからで原材料の分解速度は漸次温水処理、2% HCl 処理などの材料の分解速度に近づいてゆくように思われる。このように分解のある程度進んだ有機物あるいは2% HCl 処理材料、リグニンなどの分解速度はおそく、 CO_2 発生量もまた著しく少ないので樹種別の差の大きさもまた小さくなる傾向がある。また Romell は腐植形成については有機物分解のはやきよりもその過程が重要であるとしているが、本報で用いた方法によるときは CO_2 発生量によるおおよその分解速度を推定しえても、落葉の性質が分解の進むとともにどのように変化していたかを確かめることができない。また長期間の分解速度の比較にはとくに水分条件などの規整が困難であるほか、用いた試料の量が少なかったから分解残渣の分析にも支障を伴う。従つてここでえられた傾向はさらに長期間の分解による落葉各有機組成分の变化の様相を求めることによつて確かめられる必要があろう。

Ⅵ. 摘 要

京都近郊で採取したハンノキ、ヒメヤシアブシ、コナラ、ヒノキ、スギ、アカマツについて一定の条件下で CO_2 発生量を指標として分解速度を測定し落葉の有機組成分との関係を求めた。

1. ハンノキ、コナラ、スギ、ヒノキの30日間の分解速度は CO_2 発生量の大きかつたものから順にハンノキ>コナラ>ヒノキ>スギとなつた。またヒメヤシアブシ、コナラ、アカマツでは54日間の CO_2 発生量で大きかつたものから順にヒメヤシアブシ>コナラ>アカマツとなつた。各有機組成分分析結果によるとスギ、アカマツ、ヒノキはコナラ、ヒメヤシアブシ、ハンノキに比してアルコール・ベンゾール抽出物、またエーテル及びアルコール抽出物の量が多く約2倍に達したほか、ハンノキ、ヒメヤシアブシで窒素量が他より明らかに多く約2.5%を示した。このほかの組成分については多少の差があつてもその量的な比較から分解速度の難易を説明することはできないようである。

2. アカマツ、コナラでは可給態窒素の不足によつて初期の分解速度がかなり抑制されていたようであるが、ヒメヤシアブシでは少なくとも初期の分解に窒素及びその他の無機養分の不足が制限因子となつていたとは考えられない。しかし充分の無機養分を与えた条件のもとでもなお分解速度は樹種別に差異がありその順位も無機養分を添加しないとときと変化がなかつた。

3. アカマツ、スギのエーテル抽出物を除去しても分解速度は促進されずむしろ CO_2 発生量が低下する場合があつたので、エーテルで抽出される部分は針葉樹落葉の分解を直接妨げているようには思われない。しかしこの部分の分解速度ははやかつたとは考えられないので、この部分を広葉より多量に含むことは初期の分解速度に不利な条件と考えられる。

またこのエーテル抽出物をセルローズや広葉に添加すると初期の分解開始がおくれ一時的に分解抑制の効果を示したが、一旦分解が始まるとその後の分解速度には何の有害作用を与えていなかった。

4. ヒメヤシアブシの水溶性物質はエーテル抽出物をも含めて分解ははやかつたようでこの樹種落葉の初期の CO_2 発生量のかなりの部分を占めていたが、アカマツやスギでは水溶性物質を除去しても分解速度に著しい変化はなかつた。2% HCl 処理材料では各樹種ともに分解速度の低下が著しく、とくにスギ、アカマツでは初期の CO_2 発生量の約60%はヘミセルローズ部分の分解によつていたもののようである。ヒメヤシアブシの2% HCl 処理材料はセルローズが少なくリグニンが多かつたが初期の分解速度は最もはやく30日間の CO_2 発生量もよりセルローズに富むコナラとほぼ同様であつた。スギ、アカマツではこの材料の分解速度もまたおそかつた。

5. 2% HCl 処理材料を 4% NaOH である程度リグニンを除去するとその分解速度は明らかに増大し、セルロースの分解が多量のリグニンの存在によつて抑制されていたことを示した。従つて少なくとも同一樹種においてはリグニン含有量が少ない程分解速度ははやくなるが、樹種が違ふとこの関係は成立しない。

6. 単離された硫酸リグニン、混酸リグニンの分解速度はその他の組成分に比して著しくおそく、樹種間にも明らかな差異を認め難い。またセルロースと混合してもその分解に有害な作用は全く与えなかつた。すなわち、リグニンは極めて分解され難く、細胞膜中ではセルロースと密接に結合するから、機械的にセルロースの分解に対し保護的な作用を与えていると考えられる。

7. ヒメヤシアブシのように分解速度のはやい落葉ではその水溶性物質や細胞膜構成部分の分解速度もまた他に比してはやく、アカマツ、スギのように分解のおそいものではこれら諸成分の分解速度がおそかつた。従つて樹種による分解速度の差異は単にその組成分の量的な比較だけから判断することは困難で各組成分の分解に対する難易性を考慮する必要がある。

文 献

- (1) Aaltonen, V. T. : Boden u. Wald. Berlin u. Hamburg 1948.
- (2) Broadfoot, W. M. and Pierre, W. H. : Soil Sci. 48. 329-348, 1939.
- (3) Coile, T. S. : Bull. Duke. Univ. School. Forestry 5. 1940. (文献 (1) による)
- (4) Coldwell, B. B. and Delong, W. A. : Scientific Agriculture 30. (11). 456-466, 1950.
- (5) Corbet, A. S. : Soil Sci. 37. 109-115, 1934.
- (6) Ebermayer, E. : Die gesamte Lehre der Waldstreu. Berlin. 1876.
- (7) Falck, R. : Forstarchiv. 6. 366-377, 1930.
- (8) Grosskopf, W. : Tharandt. Forstl. Jahrb. 79. 343-362, 1928.
- (9) " : " 86. 48-111, 1935.
- (10) Handley, W. R. C. : Bull. For. Comm. Lond. No. 23. 1954.
- (11) 原 勝 : 日. 林. 誌. 19. (6) 385-399, 1937.
- (12) Helbig, M. u. Jung, E. : Allg. Forst. u. Jagdz. 105. 336-344, 382-392, 1929.
- (13) Hesselman, H. : Meddel. stat. Skogsförsöksanst. 22. 508-552, 1926.
- (14) Kleberg, T. : Landw. Jahrb. 66. 317-360, 1927.
- (15) Koch, A. : Zentrbl. f. Bakt. 41. 545-571, 1914.
- (16) Koch, A. u. Ölsner, A. : " 45. 107-118, 1916.
- (17) Kraus, G. : Forstwiss. Zbl. 48. 401-429, 452-473, 1926.
- (18) Lemmermann, O. u. Wiessmann, H. : Ztschr. Pflanzenernähr. u. Düng. (A) 3. 387-395, 1924.
- (19) Lutz, H. J. and Chandler, R. F. : Forest Soil. New York. 1951.
- (20) Maiwald, K. : Handbuch der Bodenlehre. 7, Berlin. 1931.
- (21) Martin, J. P. and Wang, Y. : J. Americ. Soc. Agron. 36. 373, 1944.
- (22) Marten, E. A. and Pohlman, G. G. : Soil Sci. 54. 67-77, 1942.
- (23) Mattson, S. u. Koutler-Andersson, E. : Ann. Agric. Coll. Swed. 9. 1-26, 27-37, 57-73, 1941.
(文献 (1) による)
- (24) Melin, E. : Ecology. 11. 72-101, 1930.
- (25) 宮崎 榊 : 四国森林植生と土壤形態について. 興林会, 1942.
- (26) Müller, K. : Aschenanalysen über den standörtlich Verschiedenen mineralstoffgehalt der Fichtennadeln by vergleichender Probenahme. 1934. (文献 (1) による).
- (27) 中山治朗 : 京大演報. 25. 1-34, 1956.
- (28) Némec, A. u. Kvapil, K. : Ztschr. Forst. u. Jagdwiss. 59. 321-352, 385-412, 1927.
- (29) Némec, A. : Ztschr. Pflanzenern. u. Düng. Bodenk. A 18. 65-104, 1930.
- (30) 大政正隆, 森 経一 : 帝. 林. 試. 報. 3. (3). 39-107, 1937.
- (31) 大杉 繁, 吉江, 小松原 : Memories. Coll. Agric. Kyoto. Univ. 12. 1931.
- (32) Ramann, E. : Bodenkunde. Berlin. 1911.
- (33) Rege, R. D. : Ann. Appl. Biol. 14. 1-44, 1927.
- (34) Romell, L. G. and Heiberg, S. D. : Ecology. 12. 567-608, 1931.
- (35) Romell, L. G. : Soil Sci. 34. 161-188, 1932.
- (36) Russell, E. W. : Soil condition and Plant growth. London. 1950.

- (37) 斎藤 紀 : 生態学研究. 14. (2) 141-147, 1956.
- (38) 芝本武夫, 中島幸雄 : 演習林 (東大) 8. 57-66, 1951.
- (39) Springer, U. u. Lehner, A. : Ztschri. Pflanzenern. Düng. 58. (3). 193-231, 59. (1). 1-27, 1952.
- (40) 堤 利夫 : 日. 林. 講. 62. 142-144, 1953.
- (41) 堤, 杉山, 田村 : 日. 林. 講. 63. 150-152, 1954.
- (42) 堤 利夫 : 日. 林. 関西. 講. 5. 25-26, 1955.
- (43) Waksman, S. A. and Tenney, F. G. : Soil Sci. 24. 275-283, 317-334, 1927 ; 26. 155-171, 1928 ; 28. 55-84, 1929 ; 30. 143-160, 1930.
- (44) Waksman, S. A. Tenney, E. G. and Stevens, K. R. : Ecology. 9. 126-144, 1928.
- (45) Waksman, S. A. and Gerretson, F. C. : Ecology. 12. 33-60, 1931.
- (46) Waksman, S. A. and Diehm, R. A. : Soil Sci. 32. 73-95, 97-117, 119-139, 1931.
- (47) Waksman, S. A. and Iyer, K. R. N. : Soil Sci. 34. 43-70, 71-80, 1932 ; 36. 57-68, 69-82, 1933.
- (48) Waksman, S. A. : Principles of Soil microbiology. Baltimore 1927.
- (49) Waksman, S. A. : Humus. Baltimore. 1936.
- (50) Waksman, S. A. and Cordon. : Soil Sci. 45. 199-206, 1938.
- (51) Wittich, W. : Ztschr. Forst u. Jagdwes. 68. 401-402, 1936.
- (52) Wittich, W. : Forstl. Wochenshri. Silva. 253-260, 1937.
- (53) Wittich, W. : Forstarchiv 15. 96-111, 1939.
- (54) Wittich, W. : Forstarchiv 19. 1-18, 1943.
- (55) Wittich, W. : Schriftenreihe Forstl. Fakul. Univ. Göttingen Band. 4, 1952.
- (56) Wittich, W. : Schriftenreihe Forstl. Fakul. Univ. Göttingen Band. 9, 1953.
- (57) Wollny, E. : Die Zersetzung der organischen Stoffe und die Humusbildungen mit Rücksicht auf die Bodencultur. Heidelberg. 1897 (文献 (47) による)

Résumé

This report deals with the relation between the rate of decomposition of forest litter and their chemical composition. The index used for the rate of decomposition was the development of CO_2 , under controlled and uniform laboratory condition.

(1) The tests proved that there was a greater or lesser variation in the rate of decomposition among the kinds of litter. The order of the decomposing rate of litter in the period of 30 days was following, that which decomposed most rapidly being mentioned first (25°C) : (i) *Alnus japonica* (Hannoki) (ii) *Quercus serrata* (Konara) (iii) *Chamaecyparis obtusa* (Hinoki) (iv) *Cryptomeria japonica* (Sugi). And, the other series, in the period of 54 days the order was following (25°C) : (i) *Alnus pendula* (Himeyashabusi) (ii) *Quercus serrata* (Konara) (iii) *Pinus densiflora* (Akamatsu). According to the results of proximate analysis of fresh litter, in the case of needles (Sugi, Akamatsu and Hinoki) the contents of the alcohol-benzol soluble fraction or ether and alcohol soluble fraction were almost double that of broad leaves (Konara, Hannoki and Himeyashabusi), and Hannoki and Himeyashabusi had much more nitrogen than other litter (about 2.5%). Among the kinds of litter investigated, there were some differences in the relative amount of the remaining chemical composition such as water soluble substances, cellulose, hemicellulose, and lignin, but there was no direct correlation between their relative amount and the rate of decomposition, if different kinds of litter were compared with one another.

(2) When inorganic nitrogen was introduced, there was a strong increase in the development of CO_2 in Akamatsu, and Konara, but in Himeyashabusi, it seemed that there were sufficient nutrients salts and nitrogen for early period of decomposition. Under the sufficient nutrients salts and nitrogen were added, however, there were differences in the rate of decomposition between the kinds of litter, and the order of decomposing rate was the same to that of nutrient salts and nitrogen were not added. The low content of nitrogen in Akamatsu was distinctly the cause of its slow decomposition, but it was not the primary factor causing the difference in the rate of decomposition between Himeyashabusi or Konara.

(3) It considered that the slow decomposition of needles was due to the high content of alcohol-benzol soluble fraction, which contain waxes, resins and fats. When the needles of Sugi and Akamatsu treated with ether, there were not the increase in the development of CO_2 , but slightly decreased, therefore, it seemed that the ether soluble fraction of needles were greatly not retarded the decomposition. But it appeared that this fraction were not so rapidly decomposed, during the early periods, so it may be the unfavorable condition for needles that the contents of the ether soluble fraction, which somewhat resistant for decomposition, were almost double to broad leaves. When the ether extracts of Sugi and Akamatsu

needles added to cellulose or broad leaves (Konara, Himeyashabusi), the decomposition were retarded in the early period, in the case of cellulose about 1 month, and in Konara and Himeyashabusi about 2~3 days. After this period, the rate of decomposition were as rapidly as that of the untreated matter, so that the ether extracts of Sugi and Akamatsu needles had no injurious influence to the rate of decomposition of cellulose and broad leaves on this period.

(4) It seemed that the water soluble fraction of Himeyashabusi, including the ether extracts were very rapidly decomposed, but in Akamatsu and Sugi needles, the remove of water soluble fraction, including the ether extracts had no influence for the CO_2 evolution in 30 days.

The development of CO_2 were great extent decreased in the materials which treated with 2% HCl. Particularly, in Sugi and Akamatsu about 60% of the amount of CO_2 evolution from original materials were due to the fraction which soluble in 2 % HCl. In spite of the lowest cellulose contents and the highest lignin content in the material of Himeyashabusi which treated with 2 % HCl, it decomposed most rapidly in the period of 30 days. In the case of Sugi, Akamatsu the cellulose content was almost same as Konara leaves, but their decomposition were slower than Himeyashabusi or Konara in those materials.

(5) When certain amount of lignin removed from the materials treated with 2% HCl by the treatment with 4% NaOH, the evolution of CO_2 were greatly increased, and their decomposition gradually resembled to the decomposition of pure cellulose in proportion to the decrease of the ratio between cellulose and lignin.

This tends to indicate that the high lignin contents of forest litter were the one of the chief factor of their slower decomposition than the other plant residues such as woods, or rice strow. In this experiments, it could not make clear the difference of the depressing effect of lignin on cellulose decomposition between tree species.

(6) The isolated lignin (Sulfuric acid lignin, Wenzel-Urban lignin) decomposed very slowly compared with the other composition such as cellulose, and it seemed that there was no difference in the rate of their decomposition between the kinds of litter.

The mixed materials with cellulose and isolated lignin decomposed as rapidly as cellulose, therefore the isolated lignin had no injurious influences upon the cellulose decomposition.

Therefore the lignin which in cell membrane protects the cellulose from rapid decomposition only mechanically.

(7) In the case of the rapidly decomposable litter such as Himeyashabusi, its water soluble substances and substances composing cell-membrane were also decomposed easier than Akamatsu and Sugi. If different species of litter were compared with one another, it seemed difficult to assume the rate of decomposition in proportion to their relative amounts of the chemical composition. For determining the rate of decomposition of forest litter, it seemed the more important factor that there were the difference in the nature of each chemical composition such as water soluble fraction, hemicellulose and lignin which is characteristics for tree species between the kinds of litter.